

## CUSTOM ORTHODONTIC APPLIANCE FORMING METHOD AND APPARATUS

**Patent number:** DE69327661T  
**Publication date:** 2000-07-20  
**Inventor:** ANDREIKO A (US); PAYNE A (US)  
**Applicant:** ORMCO CORP (US)  
**Classification:**  
 - international: A61C7/00; A61C13/00  
 - european: A61C7/00; A61C7/14P; A61C7/20  
**Application number:** DE19936027661T 19931109  
**Priority number(s):** US19920973844 19921109; US19920973947 19921109;  
 US19920973965 19921109; US19920973973 19921109;  
 WO1993US10858 19931109

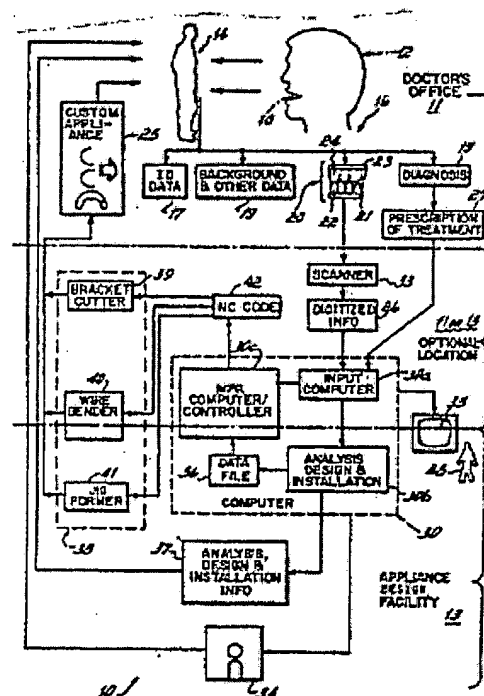
Also published as:

WO9410935 (A1)  
 EP0667753 (A1)  
 EP0667753 (B1)

Report a data error here

Abstract not available for DE69327661T  
 Abstract of corresponding document: **WO9410935**

A system (10) and method by which an orthodontic appliance (25) is automatically designed and manufactured from digital lower jaw and tooth shape data (26) of a patient (14) provides for scanning, preferably from a model (20) of the patient's mouth, to produce two or three dimensional images, and digitizing contours and selected point on the patient's teeth and jaw. From the scanned individual patient data, a computer (30) constructs archforms and calculates finish tooth positions, then designs an appliance (25), preferably including archwires and brackets, to move the teeth to the calculated positions. Lower teeth are positioned at the gums on an arch defined by the lower jaw bone and modified to best fit the tooth tips on a smooth curve. Then upper archforms are derived from the lower archform. Crown long axes of the teeth are derived and optimally inclined in the treatment which places all lower teeth but the cuspids in a plane and fits the occluding teeth to them. Overlaps for the upper incisors and cuspid rise are calculated. Brackets each have a base and an archwire support in which an archwire slot is to be cut to a custom inclination, depth, location and curvature, in a blank clamped to an inclinable holder, using a blade of a cutting machine (39). The holder and blade are moved by commands from a computer (30c). An archwire is automatically formed by a wire bender (40) into an optimize smooth arcuate shape and optimal low profile bracket design. Arch equations preferably start with a cubic spline equation and are converted to the form of a series of circle segments for machine control



BEST AVAILABLE COPY

instructions for a numerically forming equipment. Placement jigs, simultaneously designed and automatically made with numerically controlled machinery (41) for positioning and orienting the appliance at connection points on the teeth, each have a surface custom shaped to the contour of a tooth. The machines (38-41) for making the brackets, wires and jigs are driven by commands derived from digitized tooth and jaw shape data and from digital representations of the tooth finish positions and appliance design.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Übersetzung der  
europäischen Patentschrift**

⑨⑦ **EP 0 667 753 B 1**

⑩ **DE 693 27 661 T 2**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**A 61 C 7/00**  
A 61 C 13/00

②①	Deutsches Aktenzeichen:	693 27 661.4
⑥⑥	PCT-Aktenzeichen:	PCT/US93/10858
⑨⑥	Europäisches Aktenzeichen:	94 901 388.2
⑥⑦	PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 94/10935
⑥⑥	PCT-Anmeldetag:	9. 11. 1993
⑥⑦	Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	26. 5. 1994
⑨⑦	Erstveröffentlichung durch das EPA:	23. 8. 1995
⑨⑦	Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	19. 1. 2000
④⑦	Veröffentlichungstag im Patentblatt:	20. 7. 2000

③⑩ Unionspriorität:

973844	09. 11. 1992	US
973947	09. 11. 1992	US
973965	09. 11. 1992	US
973973	09. 11. 1992	US

⑦③ Patentinhaber:

Ormco Corp., Glendora, Calif., US

⑦④ Vertreter:

P. Meissner und Kollegen, 14199 Berlin

⑥④ Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR

⑦② Erfinder:

ANDREIKO, A., Craig, Alta Loma, US; PAYNE, A.,  
Mark, Whittier, US

⑤④ **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM HERSTELLEN VON INDIVIDUELL  
ANGEPASSTENORTHODONTISCHEN EINRICHTUNGEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**DE 693 27 661 T 2**

**DE 693 27 661 T 2**

VERFAHREN UND FERTIGUNGSKOMPLEX ZUR HERSTELLUNG VON INDIVIDUELLEN  
KIEFERORTHOPÄDISCHEN APPARATEN.

Die vorliegende Erfindung betrifft die Konstruktion, die Herstellung sowie den Einsatz von kieferorthopädischen Apparaten zur Ausrichtung von Zähnen und insbesondere die automatisierte Konstruktion, Herstellung und die Anwendung von individuellen kieferorthopädischen Apparaten unter Berücksichtigung der individuellen Anatomie der Patienten sowie die Diagnose der Patienten zu diesem Zweck und deren Behandlung damit.

Das grundlegende Ziel der kieferorthopädischen Behandlung von Patienten besteht darin, die Zähne eines Patienten in seinem Mund auszurichten oder an Positionen zu bewegen, an denen sie optimal zusammenwirken und relative Stellungen und Ausrichtungen einnehmen, die sie als ein Paar einander gegenüberstehender und zusammenarbeitender ebener oder nahezu ebener glatter Bögen definieren. Die Zähne der beiden Bögen, der maxillare Zahnbogen des Oberkiefers sowie der mandibulare Zahnbogen des Unterkiefers, berühren, wenn sie sich in einer optimalen oder idealen Position befinden, die Zähne des gegenüberliegenden Bogens entlang einer Fläche, die normalerweise eben oder leicht nach oben gewölbt ist und im allgemeinen als Okklusionsebene bezeichnet wird.

Die Behandlung, denen Patienten unterzogen werden, bei denen eine zu große Abweichung von den idealen Zahnstellungen diagnostiziert wurde und eine kieferorthopädische Korrektur erforderlich ist, umfaßt eine anfängliche oder Grundbehandlung, um die ernsthafteren Schäden der Zahnpositionierung zu beseitigen, worauf sich eine Feinbehandlung anschließt, die die Zähne so nahe wie möglich an oder praktisch in ihre idealen Positionen bringen soll. Die Grundbehandlung umfaßt für gewöhnlich die Bewegung bestimmter Zähne mittels eines von mehreren anerkannten Verfahrens durch einen Kieferorthopäden, zuweilen auch Verfahren wie die Extraktion bestimmter Zähne oder eine Operation am Kiefer des Patienten durch einen Kieferchirurgen.

Bei der Feinbehandlung bringt der Kieferorthopäde einen Apparat oder Klammern an den Zähnen des Patienten an, durch die kontinuierliche Kräfte auf die Zähne des Patienten ausgeübt werden sollen, um diese schrittweise in ihre idealen Positionen zu zwingen. Die Anwendung einer Apparatur bedeutet im allgemeinen das Anbringen von Brackets an den Zähnen, entweder mittels eines Haftmittels an den Zähnen oder durch Befestigung mit Bändern um die Zähne. Die Brackets sind für gewöhnlich mit einem Schlitz versehen, durch den ein Bogendraht gezogen ist. Ein Bogendraht ist für die oberen Zähne vorgesehen und einer für die unteren. Typischerweise haben die Schlitz in den Brackets einen rechteckigen Querschnitt, und der Bogendraht hat einen rechteckigen Querschnitt. Der in den Schlitz untergebrachte Bogendraht verbindet die Zähne mittels der Brackets und übt Kräfte auf die Zähne aus, um sie in die vom Kieferorthopäden vorgesehene Endposition zu bewegen oder zu drehen.

Bei Konstruktion und Anwendung von kieferorthopädischen Apparaten hat sich gezeigt, daß bei einem optimal konstruierten und eingesetzten kieferorthopädischen Apparat die Schlitz der

Brackets so angeordnet sind, daß sie zunächst einen vorgeformten Bogendraht aufnehmen, der sich elastisch verformt, so daß er korrigierende Kräfte auf die Zähne ausübt, um sie in ihre Endpositionen zu zwingen. Befinden sie sich in ihren Endpositionen, wird der Bogendraht eines optimal konstruierten Apparats nicht länger elastisch verformt, so daß er keine Kräfte mehr auf die Zähne ausübt. Unterschiedliche Probleme haben bei der bisherigen Technik die Erreichung dieses Ziels verhindert.

Ein Problem der bisherigen Technik bestand darin, daß die gängigen kieferorthopädischen Erzeugnisse für eine durchschnittliche Anatomie konstruiert und hergestellt wurden. Demzufolge stehen die Kieferorthopäden vor der Notwendigkeit, Apparate auszuwählen, von denen sie meinen, daß die Brackets und Bogendrähte eine Gestalt aufweisen, die der vom Patienten benötigten am nächsten kommt, und diese für die Behandlung des Patienten zu modifizieren. Einige dieser Modifikationen können vorgenommen werden, wenn der Apparat erstmals eingesetzt wird, doch macht sich fast unvermeidlich eine Modifikation während des Behandlungsablaufes des Patienten erforderlich. Diese Modifikation kann in einem Austausch von Brackets bestehen, erfordert jedoch meistens ein wiederholtes Biegen und Neuformen des Bogendrahtes im Verlauf der Behandlung. Dadurch ist die Behandlung des Patienten zu einem System manuellen Feedbacks geworden, bei dem der Kieferorthopäde den Fortschritt der Behandlung des Patienten beobachtet und dann den Apparat neu einrichtet, üblicherweise, indem er die Bogendrähte biegt, um die Kräfte zu korrigieren, die auf die Zähne ausgeübt werden, um sie in ihre Endpositionen zu bringen, die dann jedoch auf keinen Fall ideal sind. Als Folge muß sich der Patient möglicherweise einer langwierigeren Behandlung unterziehen, als sie nötig gewesen wäre, wenn der Apparat von Anfang an mit der optimalen Form angefertigt worden wäre. Zusätzlich kann die Zeit, die der Kieferorthopäde zur Durchführung der Behandlung benötigt, um ein Mehrfaches länger sein als in dem Fall, wenn keine Modifikation des Apparats erforderlich wäre. Aus diesem Grunde kann der Kieferorthopäde weniger Patienten behandeln, und die Kosten der Behandlung für den Patienten oder den Kieferorthopäden steigen.

Die Lage der Apparatfixierpunkte an den Zähnen stellte ebenfalls bei den bisherigen Verfahren eine Schwierigkeit dar. Normalerweise werden Brackets an den Zähnen angebracht und dann durch die Bogendrähte miteinander verbunden. Dies erfolgt, wenn sich die Zähne in der Stellung mit mangelhafter Okklusion befinden, wobei der Kieferorthopäde nur eine geistige Vorstellung hat, wo die Endpositionen der Zähne sein werden und wo die Brackets angebracht werden müssen, um die Zähne in diese Endpositionen zu bringen. Um einen wirkungsvolleren Einsatz des Apparats zu erzielen und um das Reinigen der Zähne zu erleichtern, zieht der Kieferorthopäde es vor, die Brackets und Bogendrähte von der Gingiva entfernt zu positionieren. Befinden sie sich jedoch zu dicht an den Zahnspitzen, kommt es möglicherweise zu Störungen mit den Zähnen des gegenüberliegenden Bogens, wenn sich die Zähne ihren Endpositionen nähern.

Ein weiteres Problem der bisherigen Verfahren, das die Auswahl oder Konstruktion eines idealen kieferorthopädischen Apparats für den Patienten erschwert hat, liegt in der Schwierigkeit, einen Ausdruck für die ideale Endposition der Zähne zu finden. Normalerweise fertigen Kieferorthopäden Modelle vom Mund des Patienten an, und anhand dieser Modelle und mit der Hilfe von Röntgenaufnahmen legen sie eine Behandlung fest, um die Zähne zu den Zahnendpositionen zu

bewegen. Dieser Vorgang ist zeitraubend und bietet eine Quelle für Fehler und Ungenauigkeiten. Ausgehend von Messungen und der Beurteilung durch den Kieferorthopäden werden Komponenten des Apparats ausgewählt, um die vorgeschriebene Behandlung durchzuführen. In der Praxis handelt es sich bei der Behandlung der Patienten mehr um eine Kunst als um eine Wissenschaft, wobei sich die Ergebnisse zwischen dürrtig und ausgezeichnet bewegen und starke Unterschiede aufweisen.

Einige Kieferorthopäden haben die Notwendigkeit von individuell angefertigten kieferorthopädischen Apparaten und der Anwendung automatischer Konstruktionsverfahren erkannt, während andere angesichts des Mangels an Verfahren zur Herstellung praktischer individueller Apparate und automatisierter Systeme zur Konstruktion der Apparate dafür plädieren, an Standardkomponenten und manuellen Verfahren festzuhalten.

E-P-A 0502227 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung einer kieferorthopädischen Klammer, bei dem ein Modell der Zähne des Patienten eingesetzt wird, um deren Konturen zu bestimmen, und aufgrund dieses Modells sowie der vom Kieferorthopäden festgelegten gewünschten Zahnpositionen wird eine geeignete Bracketgeometrie erstellt. Bei ihrer Festlegung werden mesiodistale Profile der Zähne verwendet, bei denen es sich um zweidimensionale Darstellungen einzelner Zahnformen handelt, wobei diese Profile mit der Position des Bogendrahts korreliert werden. Die Geometrie wird so berechnet, daß der Bogendraht, wenn er in die Brackets eingesetzt ist, in der vertikalen Ebene eine im wesentlichen lineare Konfiguration und in der horizontalen Ebene eine progressive Krümmung aufweist. Die errechnete Geometrie wird dann zur automatischen Herstellung der Brackets benutzt, die zusammen mit dem Bogendraht an den Kieferorthopäden zum Einsetzen geliefert werden.

WO90/08512 offenbart ebenfalls ein Verfahren zur Konstruktion eines kieferorthopädischen Apparats, das die Digitalisierung der Zahnform sowie die Berechnung der gewünschten Bracketgeometrie umfaßt. In diesem Fall wird die Endposition aufgrund der Anfangsposition in einem mathematischen Modell berechnet, das von einem CAD-System aus den digitalisierten Werten erstellt wird. Der Kieferorthopäde gibt eine Beschreibung der gewünschten Ergebnisse, und die physischen Gegebenheiten des Patienten werden berücksichtigt. Anschließend wird ein Standard-Bracket modifiziert, so daß die festgelegten notwendigen Zahnbewegungen ermöglicht werden. Da ein CAD-System eingesetzt wird, wäre es angebracht, wenn ein Operator die Endpositionen anhand des bildlich dargestellten Modells berechnet.

Die Entwicklung automatischer Konstruktionssysteme für individuelle Apparate ist auf unterschiedliche Schwierigkeiten gestoßen. Dazu zählte die Aufgabe, ein automatisiertes System zu entwickeln, das zuverlässige und effiziente Algorithmen zur Entscheidungsfindung sowie Verfahren zur automatischen Bestimmung der idealen Zahnendposition umfaßt. Ferner gehörte zu diesen Schwierigkeiten, eine solche Form eines Ausdrucks für die Apparatgeometrie zu finden, die in effektiver Weise mit einer automatisierten Apparatfertigungsanlage gewonnen werden kann. Außerdem hat die bisherige Technik keine Möglichkeit erbracht, entsprechend der Apparatkonstruktion einen Apparat präzise den individuellen Gegebenheiten angepaßt herzustellen. Ein zusätzliches Problem bei der automatisierten Konstruktion und Herstellung kieferorthopädischer Apparate liegt in der Schwierigkeit, ein Individualkonstruktionssystem zu entwickeln, das die fachlich anerkannten Parameter und Kriterien berücksichtigt, die sich über viele Jahre hinweg aus dem

Wissen und der Erfahrung der praktizierenden und klinischen Kieferorthopäden entwickelt haben und auf denen Diagnose und Behandlung beruhen.

Demzufolge besteht bei der Kieferorthopädie ein immenser Bedarf an einem praktischen, zuverlässigen und effizienten System zur automatisierten Konstruktion und Herstellung individueller Apparate sowie an der Bereitstellung von individuellen Apparaten und deren Behandlung damit.

Ein vorrangiges Ziel der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein praktisches, zuverlässiges und effizientes System zur automatisierten Konstruktion und Herstellung individueller Apparate anzubieten sowie individuelle Apparate zur Verfügung zu stellen und die Behandlung von Patienten damit zu ermöglichen.

Ein besonderes Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein automatisiertes System zur Konstruktion und Herstellung individueller kieferorthopädischer Apparate anzubieten, das sich einfach und zuverlässig von praktizierenden Kieferorthopäden anwenden läßt und das Fähigkeiten, Wissen und Erfahrungen nutzt, über die der Kieferorthopäde verfügt. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist, die Genauigkeit der Behandlung durch den Kieferorthopäden zu erhöhen, eine effektivere Ausnutzung der Zeit des Kieferorthopäden zu ermöglichen, Fehlerquellen und Vermutungen aus der Behandlung der Patienten durch den Kieferorthopäden zu verbannen, so daß die zahlreichen Routineschritte bei Diagnose, Verordnung und Durchführung der kieferorthopädischen Behandlung sowie bei der Konstruktion und Anfertigung von kieferorthopädischen Apparaten in effizienter und zuverlässiger Weise bei häufiger Wiederholbarkeit automatisch ausgeführt werden können.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, die Verfahren der Kieferorthopäden zu verbessern, indem den Praktikern geholfen wird, eine optimale Feinbehandlung der Patienten zu erzielen sowie die Endposition der Zähne des Patienten genauer zu bestimmen und präziser zu erlangen. Eine zusätzliche Zielsetzung der vorliegenden Erfindung ist die Zusammenstellung von Daten einzelner Patienten für die Analyse der Daten, um die kieferorthopädische Praxis weiterzuentwickeln.

Wiederum ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung liegt darin, die Aufgaben bei der Konstruktion und Herstellung individueller Apparate zwischen Kieferorthopäde und Apparatfertigungsstätte bestmöglich aufzuteilen, und zwar in Übereinstimmung mit der Größe der Praxis und anderen Besonderheiten der Arbeit der einzelnen Praktiker.

Ein Verfahren zur Herstellung eines individuellen kieferorthopädischen Apparats für die Bewegung der Zähne eines Patienten in gewünschte Endpositionen im Mund des Patienten umfaßt erfindungsgemäß folgende Schritte: Vermessen der anatomischen Formen im Mund des Patienten und darauf aufbauend Gewinnen digitalisierter Daten zu den anatomischen Formen, einschließlich der die Formen der einzelnen Zähne des Patienten darstellenden dreidimensionalen Zahnformdaten; Ableiten einer idealen Zahnbogenform durch Verarbeiten der digitalisierten Daten zu den anatomischen Formen mit Hilfe eines Computers, der für die Erstellung eines zumindest teilweise von den digitalisierten Daten zu den anatomischen Formen abhängigen digitalisierten mathematischen Bogenform-Modells programmiert ist; Ableiten der Zahnendpositionen aus den digitalisierten Daten zu den anatomischen Formen sowie des digitalisierten mathematischen Bogenform-Modells mit Hilfe des

B 31.03.00

Computers zur mesiodistalen Anordnung der Zähne auf dem abgeleiteten idealen Zahnbogen und zur Bewegung der Zähne auf dem abgeleiteten idealen Zahnbogen in Positionen und in Stellungen, die zumindest teilweise auf den dreidimensionalen Zahnformdaten für die jeweiligen Zähne basieren; Vorgeben eines Apparatfixierpunktes an jedem Zahn einer Anzahl von Zähnen; Konstruktion eines individuellen kieferorthopädischen Apparats anhand der digitalisierten dreidimensionalen Zahnformdaten, der vorgegebenen Apparatfixierpunkte und der abgeleiteten Zahnendpositionen mit Hilfe des Computers, so daß der individuelle kieferorthopädische Apparat eine solche Auslegung erhält, daß eine Verbindung zwischen den Zähnen an ihren entsprechenden Fixierpunkten und den Zähnen in den abgeleiteten Zahnendpositionen besteht; Erzeugen maschinenlesbarer Steuersignale, die mit den Ergebnissen des Apparatkonstruktionsschritts korrelierende geometrische Informationen enthalten; und automatisches Fertigen eines individuellen kieferorthopädischen Apparats mit Hilfe einer Fertigungsanlage, die mittels maschinenlesbarer Steuersignale steuerbar ist und den Apparat entsprechend den in den Steuersignalen enthaltenen geometrischen Informationen formt, so daß der individuelle kieferorthopädische Apparat mit der zuvor konstruierten Konfiguration entsteht.

Eine erfindungsgemäße Fertigungsanlage für individuelle kieferorthopädische Apparate umfaßt Mittel zur Vermessung der anatomischen Formen im Mund des Patienten und zur darauf aufbauenden Erzeugung von digitalisierten anatomischen Formdaten, einschließlich dreidimensionaler Zahnformdaten, die die Formen einzelner Zähne des Patienten darstellen; einen digitalen Computer, der ein Programm zur Ableitung einer idealen Zahnbogenform aus den digitalisierten Daten mittels eines speziell programmierten digitalen Computers enthält, so daß ein digitalisiertes Bogenform-Modell erzeugt wird, das zumindest teilweise von den digitalisierten anatomischen Formdaten abhängig ist; Mittel zur computergestützten Ableitung von Zahnendpositionen aus den digitalisierten anatomischen Daten und der abgeleiteten digitalisierten idealen Bogenform zur mesiodistalen Anordnung der Zähne auf dem abgeleiteten idealen Zahnbogen und zur Bewegung und Ausrichtung der Zähne auf dem abgeleiteten idealen Zahnbogen in Positionen und in Stellungen, die zumindest teilweise auf den dreidimensionalen Zahnformdaten für die jeweiligen Zähne basieren; Vorgeben eines Apparatfixierpunktes an jedem Zahn einer Anzahl von Zähnen; ausgehend von den digitalisierten Zahnformdaten Konstruktion des vorgegebenen Apparatfixierpunkts und der abgeleiteten Zahnendpositionen und einer solchen Apparatkonfiguration, daß der dementsprechend gefertigte individuelle Apparat so ausgelegt ist, daß eine Verbindung zwischen den Zähnen an ihren entsprechenden Fixierpunkten und den Zähnen in den abgeleiteten Zahnendpositionen besteht; Erzeugung eines Maschinencodes, der die mit der vorgegebenen Apparatkonfiguration korrelierenden geometrischen Informationen enthält; sowie eine Fertigungsanlage zur automatischen Herstellung von individuellen kieferorthopädischen Apparaten in Übereinstimmung mit dem Maschinencode, so daß der Apparat entsprechend der geometrischen Informationen so geformt wird, daß der Apparat mit der vorgegebenen Apparatkonfiguration entsteht.

System und Verfahren weichen von traditioneller Konstruktion und Herstellung dadurch ab, daß sie kieferorthopädische Apparate nach der Anatomie des einzelnen Patienten entwerfen. Außerdem sind im Unterschied zu herkömmlichen kieferorthopädischen Erzeugnissen, die gemäß einer Durchschnittsanatomie konstruiert und hergestellt werden, die erfindungsgemäßen



kieferorthopädischen Erzeugnisse sowie die Verfahren ihrer Herstellung und Anwendung auf die individuelle Anatomie des Patienten zugeschnitten.

Diese und andere Ziele und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der folgenden ausführlichen Beschreibung der Zeichnungen weiter ersichtlich:

Fig. 1-1F sind Schemata zur Veranschaulichung der bevorzugten Ausführungen des erfindungsgemäßen Systems, wobei:

Fig. 1 ein Blockdiagramm ist, das eine bevorzugte Ausführung eines automatisierten Systems zur Konstruktion und Herstellung individueller kieferorthopädischer Apparate für die damit vorgenommene Behandlung von Patienten entsprechend den erfindungsgemäßen Prinzipien veranschaulicht.

Fig. 1A eine Aufrißdarstellung einer Ausführung zur Erzeugung von Bildern für die Darstellung an Sichtgeräten der Dateneingabeeinheit einer Ausführung des Scanners des Systems von Fig. 1 zeigt.

Fig. 1B eine Aufrißdarstellung einer Laserscanner-Version einer Ausführung des Scanners des Systems von Fig. 1 für die Erzeugung dreidimensionaler Bilder ist.

Fig. 1C eine Aufrißdarstellung einer mechanischen Scanner-Version mit Zahnprofilabtaster einer Einheit zur zweidimensionalen Bilderzeugung einer Ausführung des Scanners des Systems von Fig. 1 ist.

Fig. 1D eine isometrische Darstellung einer Ausführung einer Bracketfräsvorrichtung des Systems von Fig. 1 ist.

Fig. 1E eine isometrische Darstellung einer Ausführung einer Drahtformvorrichtung des Systems von Fig. 1 ist.

Fig. 1F eine isometrische Darstellung einer Bracketeinsetzhalter-Fertigungsvorrichtung des Systems von Fig. 1.

Fig. 2-2D sind Flußdiagramme der bevorzugten Verfahren zur Ausführung der vorliegenden Erfindung, wobei:

Fig. 2 ein Flußdiagramm einer bevorzugten Ausführung des mit Hilfe des Systems von Fig. 1 durchgeführten erfindungsgemäßen Prozesses ist.

Fig. 2A ein ausführlicheres Flußdiagramm ist, das die Schritte der Eingabeprozedur der automatisierten Zahnpositionierung sowie Apparatkonstruktion und -herstellung gemäß dem Prozeß von Fig. 2 zeigt.

Fig. 2B ein ausführlicheres Flußdiagramm ist, das die Schritte der Analyse- und Zahnendpositionsberechnungsprozedur der automatisierten Zahnpositionierung sowie Apparatkonstruktion- und -herstellung gemäß dem Prozeß von Fig. 2 zeigt.

Fig. 2C ein ausführlicheres Flußdiagramm ist, das die Schritte der Apparatkonstruktionsprozedur für individuelle Apparate der automatisierten Apparatkonstruktion und -herstellung gemäß dem Prozeß von Fig. 2 zeigt.

Fig. 2D ein ausführlicheres Flußdiagramm ist, das die Schritte des Herstellungsprozedur für individuelle Apparate der automatisierten Zahnpositionierung sowie Apparatkonstruktion und -herstellung gemäß dem Prozeß von Fig. 2 zeigt:

8 31.03.00

7

Fig. 3-3C sind Darstellungen bei der Eingabe erzeugter Computerbilder, wobei:

Fig. 3 ein Beispiel für eine Bildschirmdarstellung ist, die von dem Scanner des Systems von Fig. 1 erzeugt wurde und eine vom Scanner des in Fig. 1A gezeigten Typs erstellte Draufsicht eines Unterkiefermodells zeigt.

Fig. 3A ein Beispiel für den Ausschnitt eines dreidimensionalen digitalen Bildes ist, und zwar perspektivisch dargestellt und von dem Scanner des in Fig. 2B gezeigten Typs erzeugt.

Fig. 3B eine Fig. 3A ähnliche Darstellung eines anderen Bereichs des vom Scanner von Fig. 1B erzeugten dreidimensionalen digitalen Bildes ist.

Fig. 3C ein Beispiel für eine Reihe von vertikalen Zahnprofilansichten ist, die von dem Scanner von Fig. 1C erzeugt wurden.

Fig. 4-4E sind Draufsichten von Zähnen des Patienten auf Zahnpositionierungsbogenformen in unterschiedlichen Stadien der Zahnpositionsberechnung von Fig. 2B, wobei:

Fig. 4 ein geometrisches Schema ist, das das Dateneingabebild als horizontale Draufsicht veranschaulicht und schematisch die Bildschirmdarstellung von Fig. 3 in seiner Verwendung als Modell zeigt, und zwar mit eingezeichneten Variablen, die für die Digitalisierung der Daten aus der Unterkiefer-Bildschirmdarstellung relevant sind.

Fig. 4A ein Fig. 4 ähnliches geometrisches Schema ist, und zwar für die Oberkieferzähne.

Fig. 4B ein geometrisches Schema ist, das horizontale Unterkieferbogenformen darstellt, die mittels der Analyseprozedur von Fig. 2B errechnet wurden.

Fig. 4C ein geometrisches Schema ist, das horizontale Oberkieferbogenformen darstellt, die mittels der Analyseprozedur von Fig. 2B errechnet wurden.

Fig. 4D eine horizontale Draufsicht ist, die die Oberkieferzähne in ihrer Endposition zeigt.

Fig. 4E eine horizontale Draufsicht ist, die die Unterkieferzähne in ihrer Endposition zeigt, wobei der individuelle Apparat eingesetzt wurde.

Fig. 5-5P sind mathematische Referenz-Berechnungs-Schemata, und zwar in Verbindung mit der Spline-Kreis-Umwandlungs- und der Zahnpositionierungsroutine, wobei:

Fig. 5 eine horizontale Draufsicht ist, die die Positionierung eines Zahns auf einer in Kreissegmentform beschriebenen Bogenformgleichung zeigt.

Fig. 5A-5J ausführliche Schemata der Spline-Kreis-Umwandlung und der Zahnpositionierungs-Subroutinen sind.

Fig. 5K-5P ausführliche Schemata der Zahnpositionierungs-Subroutinen sind.

Fig. 6-6I sind Schemata von Zahnprofilen, welche Meßpunktbestimmung, Zahnneigung und vertikale Positionierung zeigen, wobei:

Fig. 6 ein isometrisches Bild einer dreidimensionalen Computerdarstellung eines Backenzahns, ähnlich Fig. 3A, die die Lage der alternativen vertikalen labial-lingualen Profilebenen und Zahnprofile zeigt.

Fig. 6A eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, wie sie auf dem Computerbildschirm des Systems von Fig. 1 erscheint und einen Unterkieferbackenzahn sowie ausgewählte Meßpunktparameter zeigt.

Fig. 6B eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, ähnlich Fig. 6A, die einen Eckzahn oder

8 31.03.00

8

Schneidezahn des Unterkiefers sowie ausgewählte Meßpunktparameter zeigt.

Fig. 6C eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, ähnlich Fig. 6A, die einen Backenzahn oder Prämolare des Oberkiefers sowie ausgewählte Meßpunktparameter zeigt.

Fig. 6D eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, ähnlich Fig. 6A, die einen Eckzahn oder Schneidezahn des Oberkiefers sowie dafür relevante ausgewählte Meßpunktparameter zeigt.

Fig. 6E das Schema einer Reihe von mathematischen Zahnprofilardarstellungen aller Zähne, winklig angeordnet, mit darauf verzeichneten Meßpunktparametern, ähnlich Fig. 3C, ist.

Fig. 6F das Schema einer Reihe von mathematischen Zahnprofilardarstellungen, ähnlich einem Ausschnitt von Fig. 6E, und zwar der Unterkieferzähne mit darauf verzeichneten praktischen horizontalen Positionierungsebenen, zeigt.

Fig. 6G eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, ähnlich Fig. 6A, und zwar eines hinteren Unterkieferzahns mit darauf verzeichneten relevanten Dimensionsvariablen für die Positionierung des Zahns.

Fig. 6H eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, ähnlich Fig. 6B, und zwar eines vorderen Unterkieferzahns mit darauf verzeichneten relevanten Dimensionsvariablen für die Positionierung des Zahns.

Fig. 6I eine mathematische Zahnprofilardarstellung ist, ähnlich Fig. 6H, und zwar des größten Unterkieferzahns.

Fig. 7-7D sind Referenz-Schemata in Verbindung mit der Berechnung der Zahnendposition, wobei:

Fig. 7 eine Aufrißdarstellung der Beziehung zwischen den Kiefern eines Patienten zur Veranschaulichung der Okklusionsberechnung bei Eckzahnhebung ist.

Fig. 7A ein vergrößerter Ausschnitt von Fig. 7 ist.

Fig. 7B eine mathematische Darstellung als Draufsicht ist, die bestimmte mathematische Erscheinungen bei der Zahnpositionierung auf dem versetzten Unterkieferbogen veranschaulicht.

Fig. 7C eine perspektivische Darstellung ist, die die Beziehung zwischen den vertikalen Zahnprofilebenen und den relevanten horizontalen Bogenebenen im Verlauf der Berechnung der Zahnendpositionen veranschaulicht.

Fig. 7D eine Reihe ähnlicher Aufrißprofile von Unterkiefer- und Oberkieferzähnen ist, die die Okklusions- und Übergreifbeziehungen während der Berechnung der Zahnendposition zeigen.

Fig. 8-8H sind Referenz-Schemata in Verbindung mit der Apparatekonstruktionsprozedur für individuelle Apparate, wobei:

Fig. 8 ein Schema ist, ähnlich Fig. 7D, das die Konstruktion von Bogendrahtebene und Bracketschlitz an positionierten Zähnen zeigt.

Fig. 8A eine Aufrißdarstellung ist, die die Konfiguration von Bracket und Schlitz in Verbindung mit dem Schema von Fig. 8 veranschaulicht.

Fig. 8B eine Draufsicht ist, die die Beziehung zwischen einer Zahn und einer Bogenform anhand der Positionierungsroutine zeigt.

Fig. 8C eine Zahnprofilardarstellung ist, die die Berechnung der inneren und äußeren Abmessungen des Schlitzes zeigt.

Fig. 8D eine perspektivische Darstellung ist, die die Positionierung eines individuellen Brackets an einem Zahn mit Hilfe eines individuellen Einsetzhalters zeigt.

Fig. 8E eine Draufsicht eines individuellen Bogendrahts für den Apparat, der zur Bewegung der Unterkieferzähne in die Endpositionen, die in Fig. 4E dargestellt sind, notwendig ist.

Fig. 8F eine Draufsicht ist, die den labial eingesetzten Apparat an den Zähnen des Patienten in ihrer Ausgangsposition zeigt.

Fig. 8G eine Draufsicht ist, ähnlich Fig. 8F, die einen lingualen Apparat zeigt, der an den Zähnen des Patienten eingesetzt ist.

Fig. 8H eine Aufrißdarstellung ist, die ein kieferorthopädisches linguales Bracket des Apparats von Fig. 8G zeigt.

Fig. 8I eine Draufsicht eines Brackets ist, das eine Grundschlitzkrümmung hat, die mit der eines darin gehaltenen Bogendrahts übereinstimmt.

Fig. 9-9W sind Schemata in bezug auf die Herstellungsschritte des Apparats, wobei:

Fig. 9-9H die Unterschritte der Erzeugung des Codes für das Bracketschlitzfräsen sowie den Schritt der Bracketherstellung betreffen.

Fig. 9I-9W die Unterschritte bei der Herstellung des Bracketeinsetzhalters betreffen.

Die Gesamtkonfiguration des Systems 10 wird schematisch in Fig. 1 dargestellt. Der Gesamtarbeitsablauf des bevorzugten erfindungsgemäßen Verfahrens wird im Flußdiagramm von Fig. 2 dargestellt, wobei die Untersuchung eines Patienten durch den Kieferorthopäden in dessen Praxis zur Gewinnung von Informationen durchgeführt wird, um die Gegebenheiten beim Patienten festzustellen, die geeignete Behandlung zu verordnen und die Art des kieferorthopädischen Apparats zu spezifizieren, um die Behandlung auszuführen. Die Informationen werden an eine entfernt gelegene für die Konstruktion und Herstellung von Apparaten zuständige Fertigungsstätte weitergeleitet, wo die Konstruktion eines individuellen Apparats für den Einsatz zur Behandlung erfolgt, und zwar mit Hilfe einer Computeranalyse. Die Apparatkonstruktion wird dann zusammen mit den Informationen, die der Kieferorthopäde braucht, um den Apparat beim Patienten einzusetzen, an den Kieferorthopäden zurückgesandt, der den Apparat einsetzt und die Behandlung durchführt, und zwar in Übereinstimmung mit den Instruktionen des Apparatherstellers und seinen eigenen Fachkenntnissen.

#### SYSTEMKONFIGURATION

In dem in Fig. 1 gezeigten System-Schema wird das System 10 zur Herstellung kieferorthopädischer Apparate und zur Behandlung von Patienten dargestellt. Die Systemkomponenten sind zwischen zwei Orten verteilt, einer Arztpraxis 11 und einer für die Konstruktion und Herstellung von Apparaten zuständigen Fertigungsstätte 13. In der Arztpraxis 11 wird ein Patient 12, der eine kieferorthopädische Behandlung benötigt, von einem Kieferorthopäden 14 untersucht, der eine Diagnose 15 anhand der Gegebenheiten beim Patienten stellt und, falls notwendig, die erforderliche Behandlung festlegt. Die Untersuchung basiert auf den traditionellen Fähigkeiten, dem Wissen und den Fachkenntnissen des Kieferorthopäden 14, und ihr Ergebnis ist die Erstellung von ausführlichen Unterlagen 16 über die Anatomie und die Gegebenheiten des Mundes 18 des Patienten, über die vorgeschlagene Behandlung und von weiteren Informationen, die zur Anfertigung eines

kieferorthopädischen Apparats erforderlich sind.

Die vom Kieferorthopäden erstellten Unterlagen 16 umfassen ein physisches Modell 20 von einem Abdruck des Mundes 18 des Patienten, welches aus einem Mandibularmodell 21 des Unterkiefers des Patienten oder Unterkieferknochens 22 sowie einem Maxillarmodell 23 des Oberkiefers des Patienten oder Oberkieferknochens 24 besteht. Die Unterlagen 16 enthalten ebenfalls die Verordnung 27, in der der Kieferorthopäde eine dem Patienten zu erteilende Behandlung sowie ein durch die Behandlung zu erzielendes Ergebnis darlegt. Die Verordnung 27 kann außerdem eine Spezifikation der in die Behandlung einzubeziehenden Verfahren sowie eine Benennung eines einzusetzenden kieferorthopädischen Apparats umfassen. Die Unterlagen 16 sollten weiterhin Informationen zur Identifikation 17 und zur Patientengeschichte 19 enthalten.

Bei der dargestellten erfindungsgemäßen Ausführung werden die Unterlagen 16 an die Fertigungsstätte 13 zur Apparatherstellung weitergeleitet, wo die Zahnendposition berechnet und ein individueller Apparat 25 konstruiert und hergestellt wird. In der Fertigungsstätte 13 arbeiten ein oder mehrere ausgebildete Operatoren 28. Bei einigen Ausführungen wird das physische Modell 20 selbst mit den Informationen 16 an die Fertigungsstätte 13 übermittelt. In diesen Fällen besteht die vorrangige Aufgabe der Operatoren 28 darin, die Eingabe digitaler Informationen aus den Unterlagen 16 in einen Computer 30a zu gewährleisten. Eine weitere Aufgabe ist, denselben oder einen anderen Computer 30b zu bedienen, um den individuellen Apparat 25 zu konstruieren, und eine NC-Anlage 38 zu bedienen, die von demselben oder einem anderen Computer 30c gesteuert wird, um den Apparat 25 herzustellen. Wenn Eingabe, Konstruktion und Herstellung in der Fertigungsstätte 13 erfolgen, können diese Arbeiten, die sonst mit Hilfe der Computer 30a, 30b und 30c ausgeführt werden, an einem einzigen Computer 30 erledigt werden.

Bei anderen Ausführungen erstellt der Kieferorthopäde 14 die digitalisierten Daten vom Modell 20, in welchem Fall sich der Eingabecomputer 30 in der Praxis 11 des Kieferorthopäden befindet. Bei diesen Ausführungen werden die digitalisierten Informationen 26 anstelle des physischen Modells 20 an die Fertigungsstätte 13 übermittelt. Der Computer für die Analyse und die Apparatkonstruktion befindet sich trotzdem in der Fertigungsstätte 13.

Die Eingabe der Informationen in den Eingabecomputer 30 umfaßt eine Digitalisierung der Informationen 16, um die digitalisierten anatomischen Informationen 26 in maschinenlesbarer Form für die Analyse durch den Analysecomputer 30b zu erzeugen. Der Eingabecomputer 30 ist mit diesem durch einen Scanner 33 verbunden, der bei den alternativen erfindungsgemäßen Ausführungen eine Ausstattung enthält, die mit einer oder mehreren Kameras, mechanischen Abtastern, Laserscannern, Ultraschallscannern, Moiré-Bildscannern oder anderen Geräten der Bilderzeugung oder mit Vermessungshardware arbeitet, die allein oder in Kombination mit weiteren derartigen Komponenten anatomische geometrische Informationen erzeugen, die Zähne und Kiefer des Patienten beschreiben. Die Bilder können dreidimensional oder entlang einer Mehrzahl von Ebenen oder anderen Flächen aufgenommen sein, die schließlich so kombiniert werden können, daß dreidimensionale Informationen erzeugt werden.

Die kombinierten Informationen vom Scanner 33 der dargestellten Ausführung bieten eine Grundlage für eine dreidimensionale Analyse der Zähne des Patienten und für die Berechnung der

B 31.03.00

Zahnendposition. Aufgrund der Endpositionsberechnung und der Zahnanatomiedaten wird die automatische Konstruktion und Herstellung des individuellen kieferorthopädischen Apparats 25 durchgeführt. Bei der dargestellten Ausführung werden die Daten in einer Vielzahl von unterschiedlich ausgerichteten zweidimensionalen Ebenen im Computer 30 abgebildet, anschließend im Computer 30b berechnet und kombiniert, um eine dreidimensionale Lösung für die Probleme der Zahnpositionierung und Apparatherstellung zu erbringen.

Bei einer Konfiguration, in der der Scanner 33 mit einem separaten speziellen Eingabecomputer 30 verbunden ist, wie sie hier beschrieben wird, kann das funktionelle Äquivalent des Eingabecomputers 30 auch im Schaltungsaufbau innerhalb des Scanners 33 selbst enthalten sein.

Vorzugsweise werden beim digitalen Eingabeprozess interaktive Verfahren eingesetzt, wobei ein Operator 28 ein Zeigergerät und einen Digitalisierer verwendet, um besonders geeignete kieferorthopädische Parameter von den grafischen Bildern auszuwählen, die von dem Scanner 33 auf einem Bildschirm 35 eines Monitors erzeugt werden, der mit dem Eingabecomputer 30 verbunden ist.

Bei Ausführungen, bei denen ein Teil der oder die gesamte Gewinnung der digitalisierten anatomischen Informationen 26 vom Modell 20, die auch unmittelbar vom Mund 18 des Patienten 12 erfolgen kann, vom Kieferorthopäden 14 in der kieferorthopädischen Praxis 11 vorgenommen wird, werden die Informationen 26 durch den Kieferorthopäden 14 als digitalisierte Daten erfaßt und anschließend als Teil der Informationen 16 an das Apparatkonstruktionszentrum 13 weitergeleitet. Die Übermittlung der Informationen 16 von der Praxis 11 des Kieferorthopäden zur Fertigungsstätte 13 erfolgt vorzugsweise mit Modem, kann aber auch mit jedem anderen verfügbaren Verfahren vorgenommen werden.

Ein Analyse- und Konstruktionscomputer 30b, der sich vorzugsweise in der Apparatkonstruktions- und Fertigungsstätte 13 befindet, stellt eine Archivdiskette 34 her, die formatiert und mit allen relevanten Informationen der Analyse sowie der Geschichte und über die verordnete Behandlung des Patienten 14 beschrieben wird.

Der Computer 30b in der Fertigungsstätte 13 berechnet auf der Grundlage der digitalisierten Informationen 26 die Endposition der Zähne des Patienten und die Konfiguration des Apparats 25, die erforderlich ist, um die Zähne des Patienten in diese Endposition zu bewegen. Anschließend werden die für den Patienten berechneten Informationen in einer Patientendatei 36 gespeichert. Aus den Berechnungen erzeugt der Computer 30c einen CNC-maschinenlesbaren Code 42 zur Steuerung der NC-Fertigungsanlage 38 für die Fertigung des Apparats 25. Die Computer 30b oder 30c erzeugen weiterhin ein Instruktionsdokument 37 mit Informationen, die den Kieferorthopäden 14 bei der Behandlung des Patienten 12 mit dem individuellen Apparat 25 unterstützen.

Die Fertigungsanlage 38 umfaßt eine Maschine 39 zum Fräsen oder Bearbeiten der Brackets, welche die individuellen Brackets für den Apparat 25 herstellt, indem sie Schlitzlöcher in berechneten Winkeln und in berechnete Tiefen bei schlitzlosen Standard-Brackets fräst. Die Maschine 39 kann außerdem oder alternativ die Oberflächen der Bracketbasis bearbeiten. Dadurch ergibt sich je nachdem, wie es bei verschiedenen Bracketwerkstoffen optimal erscheint, für die Bracketkonstruktion die Option, das Drehen des Zahns entweder mittels Bracket Schlitz oder Bracketbasis vorzusehen.

Die Anlage 38 umfaßt weiterhin eine Maschine 40 zum Biegen oder Bearbeiten des

Apparatbogendrahts, die individuell geformte Bogendrahte für den Apparat 25 produziert, indem sie Draht aller unterschiedlichen verfügbaren Werkstoffe und Steifigkeiten zuführt und in die individuelle Bogendrahtform biegt. Die Anlage 38 kann weiterhin eine Maschine zur Formung von Patientenbehandlungskomponenten und Hardware beinhalten, um die Herstellung oder das Einsetzen des Apparats 25 zu unterstützen. Bei der dargestellten Ausführung gehört dazu eine Maschine 41 zur Herstellung von Bracketeinsetzhaltern, die jeden Zahnkronenabschnitt des Zahnprofils in einem Kunststoffrohling entsprechend jedem Zahnkronenabschnitt sowie einer zusätzlich zu berücksichtigenden Aussparung für das positionierte Bracket zur Gewährleistung des präzisen Einsetzens der individuellen Brackets in ihren berechneten Positionen an den Zähnen bearbeitet.

Die Apparatfertigungsanlagen 38 können direkt mit dem Analysecomputer 30b verbunden sein, oder eine oder mehrere können mit einem separaten Computer zur Steuerung der Fertigungsanlagen bzw. der Maschinensteuervorrichtung 30c verbunden sein. Der Computer 30c kann sich in der Fertigungsstätte 13 befinden oder zusammen mit einer oder mehreren Apparatfertigungsanlagen 38, 40 oder 41 in der Praxis 11 des Kieferorthopäden stationiert sein. Bei einer bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführung sind ein Herstellungscomputer 30c und die Bracketfräsvorrichtung 40 (muß eigtl. 39 sein) in der Praxis des Kieferorthopäden untergebracht, ebenso wie der Scanner 33 und der Eingabecomputer 30, der derselbe Computer wie der Herstellungscomputer 30c sein kann, während sich ein weiterer zentraler Herstellungscomputer 30c, bei dem es sich um den Analysecomputer 30b handeln kann, sowie die Drahtbiegevorrichtung 40 und die Vorrichtung 41 zur Bearbeitung des Bracketeinsetzhalters in der Fertigungsstätte 13 befinden. Die optimale Verteilung der Computer 30, 30b und 30c, des Scanners 33 und der Apparatfertigungsanlagen 38, 40 und 41 wird durch die Größe der Praxis sowie die bevorzugten Arbeitsweisen des Kieferorthopäden bestimmt. Bei der dargestellten Ausführung handelt es sich bei den Computern 30-30c um IBM-PC-Klone mit Intel-Mikroprozessoren 80386 oder 80486, die jeweils mit mathematischen Koprozessoren 80387 oder 80487 ausgerüstet sind.

Bestimmte Komponenten des Systems 10 von Fig. 1 werden nachfolgend ausführlicher beschrieben.

#### Scannereinheit 33

Die drei nachfolgend beschriebenen Schritte der Informationseingabeprozedur (82) umfassen die Eingabe von Daten über die Form des Mundes 18 des Patienten 12 sowie über die Form der einzelnen Zähne darin für die Analyse in digitaler Form in den Computer 30. Bei diesen Schritten werden digitalisierte Bilder und Meßdaten des Mundes 18 des Patienten 12, die vorzugsweise indirekt vom Modell 20 abgenommen wurden, gewonnen, so daß sich ein dreidimensionales mathematisches Modell des Mundes 18 des Patienten ergibt. Bei der bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführung beinhaltet das mathematische Modell die Definition bestimmter Parameter des Unterkiefers und einzelner Zähne des Patienten, und es kann ferner einige Informationen über die ursprüngliche Position und Ausrichtung der Zähne im Mund 18 des Patienten 12 enthalten, damit der Umfang der Behandlung eingeschätzt werden kann.

Bei einigen erfindungsgemäßen Ausführungen werden die Eingangsinformationen 26 als ein vollständiges dreidimensionales Bild eingegeben und anschließend vereinfacht, indem sie auf eine

Vielzahl von Darstellungen in mehreren unterschiedlich ausgerichteten Ebenen oder ziemlich ebenmäßig gekrümmte Flächen reduziert werden, wobei jede im unabhängigen XY-Koordinatensystem der jeweiligen Fläche oder Ebene definiert ist. Bei der nachfolgenden Analyse werden diese Ebenen ausgerichtet, transformiert und gegeneinander verschoben, so daß eine Ableitung der idealen Zahnendpositionen sowie die Konstruktion des individuellen Apparates 25 erzielt wird. In Übereinstimmung mit der bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführung werden die Kurven und Punkte auf den Konturen des Kiefers und der Zähne des Patienten 12 in Form anerkannter oder allgemein anwendbarer kieferorthopädischer Parameter ausgedrückt, so daß die manuelle und automatisierte Entscheidungsfindung das Optimum an kieferorthopädischer Kenntnis und Erfahrung mit der Effektivität und Präzision der Computeranalyse kombinieren und koordinieren kann, um den Zeitaufwand des Kieferorthopäden zu minimieren, die Behandlungsdauer des Patienten zu verkürzen und die endgültigen Behandlungsergebnisse zu optimieren.

Nachfolgend werden unterschiedliche Arten und Komponenten des Scanners 33 bei unterschiedlichen erfindungsgemäßen Ausführungen beschrieben.

#### Dateneingabeeinheit mit Scanner 43

Eine bevorzugte Form oder Komponente des Scanners 33 umfaßt eine Bilderzeugungseinheit 43 wie in Fig. 1A. Die Bilderzeugungseinheit 43 umfaßt eine oder mehrere Kameras 44, die jeweils zweidimensionale Bilder vom Mund 18 des Patienten erzeugen, vorzugsweise indem sie ein Bild des Modells 20 erzeugen. Werden zwei oder mehrere davon eingesetzt, erzeugt die Einheit 43 Stereobilder, die sich in drei Dimensionen auflösen lassen. Bei der dargestellten erfindungsgemäßen Ausführung wird eine einzelne Kamera 44 eingesetzt, so daß zweidimensionale Bilder einer Draufsicht des Unter- oder Oberkiefers 22 und 24 des Patienten von den Modellen 21 oder 23 in allgemein horizontalen XY-Ebenen erzeugt werden. In Übereinstimmung mit dieser Ausführung werden bevorzugt andere Formen oder Komponenten des Scanners 33 eingesetzt, um - wie unten beschrieben - dreidimensionale Informationen zu erstellen.

In Fig. 1A wird die Bilderzeugungseinheit 43 in der Fertigungsstätte 13 des Apparatherstellers als Aufriß dargestellt. In ihrer bevorzugten Form stellt die Bilderzeugungseinheit 43 eine grafische Schnittstelle Operator-Computer dar, die die Kamera 44 umfaßt, welche mit einer Videoschnittstellenkarte 44a im Eingabecomputer 30 verbunden ist. Die Kamera 44 ist auf den Ständer 45 montiert, so daß sie eine Draufsicht von oben auf eine der beiden Hälften 21 oder 23 des Modells 20 liefert wie die Ansicht des Unterkiefers 21 in Fig. 3, wobei sich dieser auf einem horizontalen auf der Grundplatte 45a des Ständers 45 angebrachten Träger 46 abstützt. Die Modellhälfte 21 oder 23 ist so auf den Träger 46 gelegt, daß die Zähne nach oben in Richtung der Kamera 44 zeigen und daß ihre Spitzen im wesentlichen in einer horizontalen Ebene liegen, die in einem bekannten festen Abstand zur Kamera 44 gehalten wird, so daß der Maßstab des von der Kamera 44 erzeugten Bildes bekannt ist. Das kann erreicht werden, indem der Träger 46 auf den Federn 46a gelagert wird, so daß die Modellhälften 21 oder 23 nach oben gegen eine durchsichtige horizontale Platte 45b gedrückt werden.

An den Eingabecomputer 30 ist ein Zeigegerät angeschlossen, bei dem es sich um eine Maus 47a handeln kann oder, wie dargestellt, um einen Digitalisierer 47 mit Maus. Die Kamera 44 erzeugt ein Grafik-Bild 48 auf dem Bildschirm 35 des Computers 30, das ein Operator 28 mittels eines



Positionierungsrasters G (Fig. 4) ausrichten kann. Mit Hilfe des Digitalisierers 47 wählt der Operator Punkte aus, indem er den Cursor 48a auf dem Bildschirm 35 mittels der Maus 47a bewegt. Dadurch werden die XY-Koordinaten für jeden der ausgewählten Punkte gespeichert. Bei der Beschreibung des nachfolgenden bevorzugten Verfahrens stimmen die ausgewählten Punkte mit Grenzpunkten der Zähne und, anhand des Mandibularmodells 21, des Unterkiefers überein. Ausgehend von diesen Grenzpunkten der Draufsicht werden die Abmessungen der Zähne und des Unterkiefers berechnet. Die berechneten Abmessungen werden während der Analyse benutzt, um Gleichungen für die Unterkieferknochenstruktur oder die Mandibularalveolenmulde MT zu berechnen sowie aus der Mandibularalveolenmuldengleichung, den berechneten horizontalen Abmessungen und relativen Positionen der Merkmale an den einzelnen Zähnen die Endpositionen der Zähne zu ermitteln.

Als Alternative zur Auswahl von Punkten aus dem Bild 48 lassen sich dieselben Punkte in gleicher Weise aus einem Draufsicht-Bild eines digitalisierten dreidimensionalen Computerbilds der Zähne und Kiefer wie aus einem Bild auswählen, das durch Laserscanner, Moiré-Interferenzbild-Scanner, Ultraschallscanner, Stereokameras oder andere dreidimensionale Bilderzeugungsapparaturen erzeugt wird. Ausgewählte Ansichten 55a und 55b derartiger mit einem Laserscanner gemachter dreidimensionaler Computerbilder werden in Fig. 3A und 3B gezeigt. Ein solcher Laserscanner wird im folgenden im Zusammenhang mit Fig. 1B beschrieben.

#### Laserbild-Eingabeeinheit 51 für die Gewinnung von dreidimensionalen Bildern

Eine bevorzugte Form oder Komponente des Scanners 33 stellt die lasergestützte Einheit 50 für die Erzeugung dreidimensionaler Bilder in Fig. 1B dar. Entsprechend Fig. 1B wird eine der Hälften 21 und 23 des Modells 20 auf dem Träger 51 befestigt, und das Lasergerät 52 richtet einen Laserstrahl 52a auf das Modell 21 oder 22. Der Laserstrahl 52a wird reflektiert, und der reflektierte Strahl wird von einem Sensor 53 erfaßt, der aus einer photoelektrischen Pixel-Matrix besteht, die mit einem Triangulationsverfahren arbeitet, um eine Positionsveränderung am Sensor in eine Veränderung des Abstands zwischen der Einheit 50 und dem Modell 21 oder 23 umzuwandeln, die so montiert ist, daß eine Parallelverschiebung zum Modell 21 oder 23 auf einem Träger 54 erfolgt, so daß das Modell mit dem Laserstrahl abgetastet wird. Um Bilder mit Hilfe von Lasertechnik auf diese Weise zu erzeugen, gibt es handelsübliche Ausrüstungen zur Erstellung von dreidimensionalen Computerdarstellungen von Erzeugnissen oder anderen Objekten. Ein Beispiel für eine zu diesem Zweck geeignete Apparatur stellt das Cyber Scan™ Measurement System der Firma Cyber Optics Corporation in Minneapolis, Minnesota, dar. Mit einer derartigen Ausrüstung erzeugte Bilder sollten vorzugsweise vom Modell 20 abgenommene vollständige, ausführliche und dreidimensionale Bilddaten des Unter- und Oberkiefers 22 und 24 des Patienten umfassen, wobei sich die Zähne in ihrer ursprünglichen Position befinden. Die Daten werden von der beschriebenen Apparatur in Standard-ASCII-Dateien geschrieben und können vom Eingabecomputer 30 in die digitalisierte Informationsdatei 26 eingelesen werden.

Fig. 3A und 3B zeigen zwei Abschnitte des digitalisierten Unterkiefermodells, wobei ein Abschnitt 55a die vorderen Unterkieferschneidezähne  $T_{BR1}$  und  $T_{BL1}$  des Patienten 12 und ein Abschnitt 55b vom rechten Unterkiefer den zweiten Prämolare  $T_{BR5}$  und den ersten Molare  $T_{BR6}$  des Patienten 12 zeigt. Werden solche Bilder in eine horizontale Draufsicht gedreht, läßt sich eine Ableitung derselben Informationen erzielen, wie sie von der Bilderzeugungseinheit 43 von Fig. 1A

erhältlich ist; und es lassen sich daraus automatisch Punkte für die Digitalisierung mittels Software oder durch einen interaktiven Prozeß zwischen Operator und Computer auswählen, so z.B. mit dem Videoscanner 43. Das dreidimensionale Bild 55 kann in andere Richtungen gedreht werden, um andere Informationen in anderen unterschiedlichen Ebenen abzuleiten, wie beispielsweise Informationen über das vertikale Zahnprofil, die mit dem nachfolgend beschriebenen mechanischen Scanner 57 gewonnen werden. Zusätzlich können weitere Computerverfahren genutzt werden, um mit oder ohne Eingreifen oder Beeinflussung durch einen Operator auf automatischem Wege Informationen aus dem dreidimensionalen Bild 55 abzuleiten.

#### Digitale Scannereinheit mit mechanischem Abtaster 57

Als Alternative oder in Kombination mit anderen Scannerausrüstungen wie der Videoscanner-Einheit 43 von Fig. 1A oder der Laserscanner-Einheit von Fig. 1B kann zum Scanner auch eine Einheit mit mechanischem Abtaster 57 gehören, wie sie in Fig. 1C dargestellt ist. Die gesamte Einheit 57 wird bei der dargestellten erfindungsgemäßen Ausführung kombiniert mit dem Videoscanner 43 eingesetzt, um vom Modell 20 labial-linguale vertikale Profile der einzelnen Zähne abzuleiten, um die Informationen über Kiefer sowie über horizontale Abmessungen und Formen von Zähnen zu ergänzen, die von einem Bild abgeleitet sind, das mit dem Videoscanner 43 vom Modell 20 gemacht wurde. Andererseits können Teile dieser Einheit eingesetzt werden, um dieselben Informationen von dem dreidimensionalen Bild 55 zu gewinnen, das mit einer Einheit wie dem Laserscanner 50 erzeugt wurde.

Entsprechend Fig. 1C umfaßt die Einheit mit Abtaster 57 einen Meßabtaster 60, der sich über die einzelnen Zähne des Modells 21 bewegen läßt, so daß ein elektrisches Signal erzeugt wird, welches digitalisiert wird, um Punkte oder Profile von den Oberflächen der Zähne getrennt nach X und Y für jeden Zahn in den Computer einzugeben. Bei der dargestellten Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens enthalten die vom Modell 21 abgenommenen Informationen 26 die Zahnprofilkurven  $PF_i$  in labial-lingualer Ebene in mesial-distaler Richtung.

Die Einheit mit Abtaster 57 umfaßt weiterhin eine magnetische Grundplatte 59, auf der das Modell 20 aufgebracht ist und aus der sich aufrecht ein vertikaler Ständer 58 erstreckt, an dem der Abtaster 60 montiert ist. Die Abtasterspitze 60a ist frei drehbar um eine vertikale Achse, auf der sich die Spitze befindet, wobei der Abtaster selbst aufgehängt ist, damit die Spitze Einkerbungen in den Oberflächen der Zähne des Modells 21 abtasten kann. Der Abtaster 60 ist so an dem Ständer 58 montiert, daß sie sich in X- und Y-Richtung in einer vertikalen Ebene bewegen kann, welche durch den Ständer 58 und den Abtaster 60 verläuft. Auf diese Weise ist die Abtasterspitze 60a so gelagert, daß sie die Oberfläche eines Zahns des Modells 21 in dieser Ebene abtasten kann. Der Abtaster 60 ist mit dem Ständer 58 durch zwei orthogonale Positionsmeßwertwandler 61 verbunden, die elektrische analoge Meßwerte der Positionen der Spitze des Abtasters 60 auf den entsprechenden Positionen der orthogonalen XY-Koordinaten erzeugen. Die Ausgangssignale der Meßwertwandler 61 werden an eine Schaltung geliefert, die eine Folge von periodischen Meßwerten der Wandlermeßwerte der Abtasterspitzenpositionen erzeugt, die anschließend digitalisiert werden. Diese Signale werden über die Leitungen 61a an Eingabecomputer 30 übertragen, vorzugsweise an einen seriellen Port.

B 31.03.00

Während der Benutzung wird eine Hälfte des Modells 20, beispielsweise das Unterkiefermodell 21, auf die Halterung eines auf der magnetischen Grundplatte 59 befindlichen stählernen Nivellierers 62 montiert, der bei geringem Druck auf der Grundplatte 59 gleitet, aber andererseits nicht verrutscht, so daß eine präzise Positionierung möglich ist. Die Halterung läßt sich heben, senken oder neigen, so daß Positionierung und Nivellierung möglich sind. Beim Betrieb wird der Abtaster 60 manuell durch einen Bediener 28 oder automatisch bewegt, damit er die Oberfläche jedes ausgewählten Zahns des Modells 21 abtastet, um Profilkurven *PF* eines Abschnitts jedes Zahns zu erzeugen, wie in Fig. 3C gezeigt wird. Zur Erzeugung des Profils *PF* können alle handelsüblichen serienmäßig hergestellten CAD/CAM- oder Abbildungs-Software-Programme verwendet werden wie beispielsweise VERSACAD™ der Firma Prime Computers, Inc. in Bedford, Massachusetts. Die Bilder der Profile *PF* werden auf dem Bildschirm 35 gezeigt, und die digitalisierten Profile werden als Bestandteil der Eingabeinformationen 26 im Permanentpeicher des Computers 30 abgelegt.

Anhand von Kurven wie dem auf diese Weise erstellten Profil *PF* kann ein Operator mit Hilfe des Zeigegerätes 47, indem er den Cursor auf dem Profil auf dem Bildschirm 35 bewegt, Punktparameter des Zahns auswählen, deren Koordinaten sich dadurch digital in den Computer 30 eingeben lassen.

#### Apparatefertigungs-ausrüstung 38

Die Ausrüstung der Fertigungsanlage 38 der bevorzugten Ausführung der Erfindung umfaßt: eine Maschine 39 zum Fräsen und Bearbeiten der Brackets, die die Bracketbasis individuell bearbeitet, so daß sie auf die Zähne aufgesetzt werden kann, und die an Positionen und mit Winkeln, die genau berechnet sind, Bogendrahtschlitze in die Brackets fräst; eine Maschine 40 zum Biegen oder Bearbeiten des Apparatbogendrahts, die den Bogendraht präzise in eine Form biegt, die mit den individuellen Brackets zusammenwirkt, so daß korrigierende Kräfte auf die Zähne ausgeübt werden, bis sie sich in ihren berechneten Endpositionen befinden; sowie eine Bracketeinsetzhalter-Fertigungsanlage 41, die Bracketeinsetzhalter herstellt, die zu den Konturen der Zähne des Patienten passen, wie sie in den Profilen *PF* gespeichert sind. Die Halter werden vom Kieferorthopäden benutzt, um die individuellen Brackets an berechneten Positionen am Zahn zu plazieren.

Die Fertigungs-ausrüstung 38 wird von NC-Computerprogrammen gesteuert, die auf den Daten aus den Dateien 26 der digitalisierten Eingangsinformationen und den Dateien 36 aus den berechneten Patientendaten basieren.

#### Bracketfräsmaschine 39

Fig. 1D zeigt eine Maschine 39 zum Fräsen der Brackettschlitze. Die Maschine 39 umfaßt ein ortsfestes Untergestell 72, auf dem zwei aufrechtstehende Werkstückhalterstützen 72 montiert sind, an deren oberen Enden eine Werkstück- oder Brackettspannvorrichtung 73 drehbar gelagert ist. In die Vorrichtung ist ein vollständiger Satz 80a von Brackets 80 für den individuellen Apparat eingesetzt, die zuvor in einer Gruppe oder einer Packung von zwanzig oder vierundzwanzig Stück angeordnet worden sind. Die Spannvorrichtung 73 dreht sich um eine Achse 73a, die sich zwischen den Werkzeughalterstützen 72a erstreckt. In Richtung Achse 73a ist ein Winkelpositionsmotor 74 angeschlossen, der die Spannvorrichtung 73 und die darin befestigten Brackets 80 auf jeden beliebigen Winkel gegenüber der Horizontalen ausrichtet. Der Motor 74 verfügt über einen Eingang, an den der Computer 30c

angeschlossen ist, so daß mit Hilfe von NC-Steuersignalen die Neigung auf den Schlitzneigungswinkel der Bracketkonstruktion eingestellt wird.

Ebenfalls am Untergestell 72 befestigt, erhebt sich eine Fräserhalterung 72b. Am oberen Ende der Halterung 72b befinden sich ein Fräserantriebsmotor 75 sowie ein Satz von drei linearen Stellantrieben 76 für jede Richtung: ein X-Stellantrieb 76x, ein Y-Stellantrieb 76y und ein Z-Stellantrieb 76z, durch die ein Fräserhalterungsarm 77 aufgenommen und jeweils in die X-, Y- und Z-Richtung bewegt wird, d. h. horizontal in X-Richtung senkrecht zur Rotationsachse 73a der Bracketspannvorrichtung 73, horizontal in Y-Richtung parallel zur Rotationsachse 73a der Werkstückspannvorrichtung 73 und vertikal in Z-Richtung. Die Stellantriebe 76 sind mit dem Computer 30c verbunden, damit sie Positionierungssignale vom Computer 30c erhalten, so daß bogenförmige Schlitzte in der XY-Ebene der Maschine 39 gefräst werden, und zwar aufgrund von NC-Steuersignalen entsprechend einer individuellen Apparatkonstruktion.

Am äußeren Ende des beweglichen Arms 77 befindet sich eine Schlitzfräseinheit 77a, die über eine Antriebsverbindung zum Motor 75 verfügt. Von der Einheit 77a geht eine Fräser-Antriebswelle 77b ab, an deren unterem Ende eine scheibenförmige Schlitzfrässchneide 77c befestigt ist. Die Schneide 77c befindet sich in der horizontalen XY-Ebene und weist die Dicke des Schlitzes auf, der für die Dicke des ausgewählten Bogendrahtes erforderlich ist. Die Bogendrahte haben normalerweise einen rechteckigen Querschnitt, damit sie ein Drehmoment auf das Bracket ausüben können, was mit einem Schlitz mit rechteckigem Querschnitt durch die Schneide 77c ermöglicht wird. Die Grundfläche des Schlitzes wird entsprechend den Steuersignalen vom Computer 30c gefräst, und zwar in einem Winkel in der XY-Ebene der Maschine 39, der tangential ist zur endgültigen Krümmung des Bogendrahtes, den der Schlitz aufnehmen wird. Die Schlitzgrundfläche wird konvex ausgeführt, damit sie die Krümmung des Drahtes in der horizontalen Ebene aufnimmt. Die Neigung des Bracketschlitzes wird entsprechend den Steuersignalen vom Computer 30c durch den Winkel der Spannvorrichtung 73 erzielt. Der Computer 30c ist so programmiert, daß er Höhenveränderungen des Brackets 80 aufgrund der Verschiebung der Brackets zur Rotationsachse 73a berücksichtigt.

#### Drahtbiegemaschine 40

Die Drahtbiegevorrichtung 40 ist in Fig. 1E schematisch dargestellt. Die Leitsteuerung der Vorrichtung 40 erfolgt vorzugsweise durch einen IBM-PC-Klon, möglichst mit einem Mikroprozessor 80386 oder 80486 mit einem mathematischen Koprozessor mit eingebauter Bewegungssteuerungskarte 65. Bei der Steuerungskarte 65 handelt es sich beispielsweise um eine 3-achsige MC300-Motion Controller-Karte der Firma Motion Engineering, Inc. Die MC300 ist eine Spezialbewegungssteuerkarte, die Signale an die MC-OLS-Schrittschalter-Schnittstellen 66a und 66b sendet und von dort empfängt. Die MC-OLS-Schrittschalter-Schnittstellen 66a und 66b senden Steuersignale an die Schrittmotor-Netzteile 67a und 67b, beispielsweise Compumotor S-Drive Schrittschalter-Netzteile #88-011483D, hinsichtlich der Drehzahl und Drehrichtung der Motoren.

Das Netzteil 67a hat einen Ausgang zu den Drahtzuführungswalzen 68, die sich auf beiden Seiten einer Drahtführung 68a befinden, die den Bogendraht 69 führt, der kontinuierlich von einer Spule zugeführt wird. Das Netzteil 67b hat einen Ausgang zur Drahtbiegewalzen-Einheit oder zum Drahtamboß 70.

8 31.03.00

Die Steuereinheit 66b ist außerdem dafür ausgelegt, daß sie Rückkopplungssignale in bezug auf die Position von einer Scheiben-Kodiereinrichtung 70a erhält, beispielsweise ein Dynapar/Veeder Root #E1000A76500, welche die Position einer Drahtbiegewalze 70b überwacht, so daß eine Regelkreissteuerung der Drahtbiegewalze 70b gegeben ist. Der Antrieb der Walze erfolgt durch einen Drahtamboß-Motor 70c, beispielsweise Compumotor #S/SX 57-102, über eine Antriebsspindel 70d, beispielsweise einen elektrischen Zylinder #X995A-2-M56-MT1-200-PS von Industrial Devices Corp. Die Spindel 70d wandelt die Winkelposition des Motors 70c in eine lineare Bewegung der Walze 70b um, so daß der Draht 69 umgelenkt und gebogen wird, während er von den Walzen 68 durch die Führung 68a zugeführt wird.

Durch Koordinierung des Ambosses 70 und der Drahtzuführung 68 lassen sich geformte Bogendrahte 64 in jeder beliebigen planaren Form herstellen. Die Walzen 68 drücken gegen den Draht und zwingen ihn in Richtung des Ambosses 70. Die Walze 70b des Ambosses 70 bewegt sich nach oben und unten mit variierendem Radius und bestimmt damit den Radius, auf den der Draht permanent umgeformt wird. Wenn es um das Formen von Bogendrahten mit Ablenkungspunkten, d. h. mit Biegungen in unterschiedliche Richtungen, geht, wird ein zweiter Amboß auf der anderen Seite des Drahtes 69 gegenüber dem Amboß 70 angebracht und synchron mit diesem gesteuert.

Ein Drahtpositionssensor 71 überprüft den fertigen Bogendraht, indem er die Weite des geformten Drahtes 64 mit der gewünschten Weite vergleicht. Der Sensor 71 ist gegenüber dem Amboß 70 und den Zuführungswalzen 68 so montiert, daß er die Position des geformten Bogendrahtes 64 erkennt, wenn dieser sich am Ende seines Formungsprozesses befindet. Diese Messung ergibt ein Rückkopplungssignal, das einen Ausgleich für Änderungen der Werkstoffeigenschaften ermöglicht, welche die gebildete Form und das Ausmaß des Umbiegens verursachen. Der Sensor 71 sendet Informationen darüber zurück an den Computer 30c, ob der Draht 64 akzeptabel oder zu stark bzw. zu schwach gebogen ist. Falls der Draht zu stark oder zu schwach gebogen ist, berechnet der Computer 30c die erforderliche Korrektur und modifiziert die Signale schrittweise über die Schnittstellen 66a und 66b, was einen Ausgleich bewirkt, so daß die nachfolgenden Bogendrahte fortschreitend korrigiert werden, bis das Ergebnis der Signale vom Sensor 71 durch den Computer 30c als akzeptabel bewertet werden.

#### Maschine 41 zur Fertigung der Bracketeinsetzhalter

Bei der Ausrüstung 41 zur Fertigung der Bracketeinsetzhalter handelt es sich vorzugsweise um eine übliche NC-Fräse, deren Aufbau in Fig. 1F dargestellt ist. Zu der Maschine 41 gehört die Standardfräse 81, die über einen nach unten gerichteten rotierenden Werkzeughalter 81a, an dem ein Schaftfräser 81b mit einem Durchmesser von beispielsweise 0,5 mm (0,020 Zoll), wenn ein Bogendraht von 0,55 mm (0,022 Zoll) eingesetzt wird, oder mit einem Durchmesser von 0,4 mm (0,016 Zoll), wenn ein Bogendraht von 0,45 mm (0,018 Zoll) eingesetzt wird.

Die Fräse 81 ist entweder an eine Steuereinheit, die mit dem vom Computer 30c erstellten CNC-Programmcode 42 zu laden ist, oder direkt an den Computer 30c angeschlossen. Die Fräse 81 ist mit der Werkzeuglagerung 81c versehen, ihr wird ein Satz von runden ABS-Kunststoff-Halterrohlingen 83, normalerweise zwanzig oder vierundzwanzig Stück, zugeführt, und zwar aus einem Zuführungsmechanismus 81d, der mit einem Magazin 81e von Sätzen 83a der Halterrohlinge

8310300

83 ausgerüstet ist. Der Werkzeughalter 81a läßt sich vertikal bewegen, um das Werkzeug 81b an die Halter 83 heranzuführen, sowie horizontal in XY-Richtung in Übereinstimmung mit den Pfadbefehlen vom Code 42.

#### ALLGEMEINE ARBEITSGÄNGE UND PROZEDUREN

Eine bevorzugte erfindungsgemäße Methode wird durch die im Flußdiagramm der Figur 2 dargestellten Arbeitsgänge und Prozeduren veranschaulicht.

Die Methode umfaßt vorzugsweise drei allgemeine Arbeitsgänge: (85) Beurteilung des Patienten, die vom Kieferorthopäden 14 in der Arztpraxis 11 am Patienten 12 durchgeführt wird; (87) computergestützte Analyse, Konstruktion und Herstellung des Apparats, die vorzugsweise zumindest zum Teil in der Fertigungsstätte 13 erfolgen, um den individuellen Apparat 25 herzustellen; und (89) Behandlung des Patienten, die die Behandlung des Patienten 12 durch den Kieferorthopäden 14 in der Arztpraxis 11 durch Einsetzen und Benutzen des Apparats 25 umfaßt.

##### (85) Arbeitsgang Beurteilung des Patienten

Entsprechend dem System-Schema von Fig. 1 und dem Flußdiagramm von Fig. 2 erfolgt die kieferorthopädische Beurteilung (85) in einer Arztpraxis 11. Der Arbeitsgang (85) umfaßt die folgenden Schritte: (90) die Untersuchung des Patienten 12, (91) die Anfertigung des Modells 20 von Mund und Zähnen des Patienten, (92) die Verordnung einer Behandlung durch den Kieferorthopäden 14 und (93) die Nachrichtenübermittlung zur Apparatefertigungsstätte 13.

Die Untersuchung (90) des Patienten 12, der eine kieferorthopädische Behandlung benötigt, wird vom Kieferorthopäden 14 durchgeführt, der eine Diagnose 15 zu den Gegebenheiten beim Patienten stellt und nötigenfalls eine Entscheidung über eine Behandlung trifft. Auf der Grundlage der Diagnose 15 stellt der Kieferorthopäde oder Arzt 14 die Informationen 16 zusammen, die für die Durchführung der verordneten Behandlung erforderlich sind.

Für die Zusammenstellung der Informationen 16 fertigt der Kieferorthopäde 14 (91) ein Modell vom Mund 18 des Patienten an, üblicherweise ein physisches Modell 20 von einem Abdruck vom Mund des Patienten, und zwar von den ursprünglichen Gegebenheiten zum Zeitpunkt der Diagnose 15. Zu dem Modell 20 gehört das Mandibularmodell 21 vom Unterkiefer 22 des Patienten sowie das Maxillarmodell 23 vom Oberkiefer 24 des Patienten.

Dann wird aufgrund der Diagnose 15 vom Kieferorthopäden 14 (92) eine bestimmte Behandlung festgelegt und diese Verordnung 27 in schriftlicher Form erstellt.

Anschließend reicht der Kieferorthopäde 14 die (92) Informationen 16 weiter, indem er beispielsweise das Modell 20, die Verordnung der Behandlung 27, eine Akte mit Informationen 17, die den Arzt 14 und den Patienten 12 identifizieren, zusammen mit Informationen 19 mit Angaben zur Statistik und Geschichte des Patienten 12 an eine Apparatkonstruktions- und Fertigungsstätte 13 an einem anderen Ort übersendet. In der Apparatkonstruktions- und Fertigungsstätte 13 werden die Informationen 16 in digitalisierte Daten umgewandelt und zur Analyse in den Computer 30 eingegeben.

Andererseits kann der Kieferorthopäde 14 die Informationen 16 in eine digitale, computerlesbare Form konvertieren und die digitalisierten Informationen an die Apparatkonstruktions- und Fertigungsstätte 13 übermitteln. In diesem Alternativfall wäre das System 10 so aufgebaut, daß sich

der Eingabecomputer 30 in der Praxis 11 des Kieferorthopäden befindet, und der Kieferorthopäde 14 oder sein Personal würden Teile der unten beschriebenen Dateneingabeprozedur (94) ausführen.

## (87) Arbeitsgänge Analyse, Konstruktion und Herstellung

Wenn die Informationen 16, die beispielsweise das Modell 20, die Verordnung 27 sowie die Informationen 17 und 19 umfassen, entweder bei der Apparatkonstruktions- und Fertigungsstätte 13 eingehen oder zur Digitalisierung in der Praxis 11 des Kieferorthopäden zur Verfügung stehen, beginnt der (87) Arbeitsgang der Analyse, Berechnung der Zahnendpositionen sowie der Konstruktion und Herstellung des Apparates. Bei dem Arbeitsgang (87) werden die Informationen 16 verarbeitet, und der individuelle kieferorthopädische Apparat 25 zur Bewegung der Zähne des Patienten in eine optimale Endposition in Übereinstimmung mit der vom Kieferorthopäden 14 verordneten Behandlung wird hergestellt.

## (94) Eingabeprozedur

Die Eingabeprozedur (94) ist im Flußdiagramm von Fig. 2A dargestellt. Bei der Prozedur (94) werden die erhaltenen Informationen 16 in digitaler Form in einen Computer 30 eingegeben, bei der dargestellten Ausführung durch den Operator 28 in der Fertigungsstätte 13. Auch wenn die Eingabe durch einen Operator in der Fertigungsstätte 13 erfolgt, kann ein Teil der Informationen 16, beispielsweise die Informationen 17 und 19, vom Kieferorthopäden in maschinenlesbarer Form erstellt und direkt in den Computer 30 eingegeben werden. Die Eingabeprozedur umfaßt fünf Schritte (100) - (500). Die Schritte der Eingabeprozedur (90) (muß eigtl. (94) sein) umfassen bei der dargestellten Ausführung bestimmte Unterschritte, die Bestandteil des Analyseschritts (92) sind, sie werden jedoch günstigerweise zum Zeitpunkt der Eingabe der Informationen in den Computer vorgenommen.

Die Eingabeschritte (100) und (200) betreffen die Eingabe von Hintergrundinformationen, die vom Kieferorthopäden 14 zusammengestellt worden sind. Während der Eingabeschritte (300), (400) und (500) werden die Positionen und Profile von Zähnen und Kiefer definiert, und zwar in Form kieferorthopädischer Parameter und Meßpunkte, die später vom Computer analysiert werden können, um die in die Verordnung 27 einfließenden kieferorthopädischen Kenntnisse, Fähigkeiten und Erfahrungen sowie die der kieferorthopädischen Profession insgesamt am besten umzusetzen, so daß automatisch und wirkungsvoll ein optimales Ergebnis erzielt wird.

## (95) Analyse und Zahnpositionierung

Die Computeranalyse ist im Flußdiagramm von Fig. 2B dargestellt. Bei der Computeranalyse (95) werden die bei der Eingabeprozedur (94) eingegebenen Informationen analysiert, um die Zahnendpositionen zu berechnen, so daß der individuelle Apparat 25 in einer computergestützten Konstruktionsprozedur (96) entworfen und in einer computergesteuerten Herstellungsprozedur (97) produziert werden kann. Die Analyseprozedur (95) umfaßt sechs Schritte und Subroutinen (600) - (1100). Diese Schritte beinhalten folgendes:

- (600) Zahnanalyse, bei der die kieferorthopädischen Meßpunkte der Zähne identifiziert werden:  
Eine minimale Anzahl von Punkten auf den Zahnprofilen wird ausgewählt, die ausreichen, um die Kontaktpunkte zwischen den Zähnen zu bestimmen, die relevant sind für die Berechnung der Zahnendpositionen und die Konstruktion des Apparats.
- (700) Schritt zur Bestimmung der Eckzahnanhebung, bei dem die Okklusion der oberen und unteren Zähne definiert wird.
- (800) Schritt zur Positionierung der Unterkieferzähne, bei dem die Ebene der Unterkieferzähne definiert wird und die Zähne im Hinblick auf die Mandibularalveolenmulde positioniert werden. Dazu gehören folgende Schritte: Anordnen der Zähne, wobei ihre Kronenlängsachse CLA die Ebene der Mandibularalveolenmulde schneidet, entlang der Mandibularalveolenmuldengleichung MTE; vertikale Angleichung der Zähne, so daß die Spitzen (ausgenommen die Eckzähne) in einer Ebene liegen; trigonometrische Berechnung eines horizontalen Versatzes für jeden Zahn, und zwar an seiner Kronenhöhe, und seines Längsachsenneigungswinkels LAI, um eine Mandibularalveolenmulden-Versatz-Gleichung MO zu definieren; Anordnen der Zähne entlang der Versatz-Gleichung MO und Bewegen der restlichen Zähne, wobei ihre mesialen Kontaktpunkte MCP an den distalen Kontaktpunkten DCP des vorangehenden Zahns angrenzen.
- (900) Schritt der Best-fit-Berechnung für die Zahnhöcker, bei dem die Best-fit-Gleichung für den Mandibularbogen abgeleitet wird.
- (1000) Schritt des Anordnens der Unterkieferzähne, bei dem die Positionen der Unterkieferzähne für die Anordnung auf der Best-fit-Bogengleichung berechnet werden.
- (1100) Schritt des Anordnens der Maxilla, bei dem der Maxillarbogen für die Okklusion mit den bereits angeordneten Unterkieferzähnen abgeleitet wird.

Da die Okklusion der Vorderzähne nicht das Anliegen von Schneidezahnkante auf Schneidezahnkante bedeutet, wird die Best-fit-Bukkal-Höcker-Gleichung BFBCE modifiziert, so daß der Abstand von der BFBCE zu den labialen Kontaktpunkten der Unterkieferschneidezähne und -eckzähne sowie ein horizontaler oder labialer Zwischenraum gegenüber den Oberkieferzähnen berücksichtigt wird. Dadurch werden die Okklusionspunkte zu den Vorderzähnen des Oberkiefers definiert, und zwar am Schnittpunkt ihrer lingualen Flächen mit der Okklusionsebene MOC.

Anschließend wird die vertikale Positionierung der maxillaren Vorderzähne und Eckzähne vorgenommen, und zwar anhand der bereits beschriebenen vertikalen Okklusionsprozedur, so daß ein Übergreifen für die Schneidezähne sowie eine Eckzahnanhebung ermöglicht wird, wie sie in Schritt (700) festgelegt wurden. Dadurch wird das Übergreifen oder der Überbiß der Schneidezähne definiert.

Die Positionierung der hinteren Oberkieferzähne legt die Schnittpunkte der Randleistenbereiche und der zentralen Höckerfurchen gemäß der Schritte (400) bis (600) mit den Höckern der Unterkieferzähne fest, mit denen sie in Okklusion stehen. Die Bogenformen für die Positionierung der Oberkieferzähne sind in Fig. 4B dargestellt.

Die vertikale Positionierung der übrigen Zähne berücksichtigt die Okklusion sowie weitere Informationen der Verordnung, die in Schritt (200) eingegeben wurden. Die verbleibenden



Berechnungen werden im folgenden ausführlich beschrieben.

(96) Prozedur zur Konstruktion des Apparats

Bei der Apparatkonstruktionsprozedur (96), wie sie im Flußdiagramm von Fig. 2C dargestellt ist, werden die Abmessungen der Komponenten des Apparats berechnet, und zwar in einer Form, die in NC-Codes transformiert werden kann, um die NC-Maschinen zu betreiben, die die Apparatkomponenten herstellen, beispielsweise die Brackets und Bogendrahte sowie die Halter zum Einsetzen der Brackets an den richtigen Positionen auf den Zähnen des Patienten. Die Prozedur der Apparatkonstruktion (96) umfaßt die folgenden Schritte (1200) bis (1800):

- (1200) Schritt zur Bestimmung der Unterkiefer-Bogendrahtebene, bei dem die Ebene des Bogendrahts für die Unterkieferzähne in bezug auf die Unterkieferzähne definiert wird. Der Bogendraht sollte vorzugsweise in einer buchstäblich flachen Ebene liegen und symmetrisch zur Mittellinie des Bogens angeordnet sein. Dann weist der Bogendraht die erforderliche Form auf, so daß es keine Rolle spielt, welche Seite nach oben eingesetzt wird.
- (1300) Schritt zur Bestimmung der Unterkiefer-Schlitzneigung, bei dem die Winkel der Schlitze der Brackets des Apparats für die Unterkieferzähne berechnet werden.
- (1400) Schritt zur Bestimmung der Oberkiefer-Bogendrahtebene, bei dem die Ebene des Bogendrahts für die Oberkieferzähne in bezug auf die Oberkieferzähne definiert wird.
- (1500) Schritt zur Bestimmung der Oberkiefer-Schlitzneigung, bei dem die Winkel der Schlitze der Brackets des Apparats für die Oberkieferzähne berechnet werden.
- (1600) Schritt zur Berechnung der inneren und äußeren Abmessungen von mandibularem Bogendraht und Bracket, bei dem die Schlitztiefe und die Bracketgeometrie für die Unterkieferbrackets berechnet wird.
- (1700) Schritt der Berechnung der inneren und äußeren Abmessungen von maxillarem Bogendraht und Bracket, bei dem die Schlitztiefe und die Bracketgeometrie für die Oberkieferbrackets berechnet wird.

Bei der Bestimmung der inneren und äußeren Abmessungen werden die tiefsten und flachsten Schlitztiefen bestimmt, ebenso die stetigste Bogendrahtkrümmung, und zwar die mit der geringsten Radiusveränderung im Verlauf der Krümmung und möglichst ohne Ablenkungspunkte, die innerhalb der Tiefenbegrenzungen liegt.

- (1800) Schritt der Konstruktion der Bracketeinsetzhalter, bei dem Einsetzhalter konstruiert werden, die zur richtigen Positionierung der individuellen Brackets an den Zähnen des Patienten dienen.

Fig. 8D zeigt einen Kunststoffhalter 82, der vollständig an Wänden und Boden des Bracketschlitzes anliegt. Zusätzlich wird der den Zahn berührende Abschnitt der Vorrichtung 82 so konstruiert, daß er sich genau der bekannten Kontur des Zahns anpaßt, wie es durch den Profileingabeschritt (500) festgelegt wurde. Dadurch wird sichergestellt, daß der Bracketschlitz und somit das Bracket beim Anbringen am Zahn genau in der richtigen Höhe plaziert werden.

(97) Prozedur der Apparatherstellung

Die Apparatherstellungsprozedur (97), dargestellt im Flußdiagramm von Fig. 2D, beinhaltet die Erzeugung von Steuereinheitscodes für die NC-Maschinen, die für die Herstellung der in der

Apparatkonstruktionsprozedur (96) entworfenen Brackets, Bogendrähte und Bracketeinsetzhalter sowie die Herstellung der Apparatkomponenten unter Einsatz der Maschinen, die mit diesen Codes gesteuert werden, bestimmt sind. Die Prozedur (97) umfaßt folgende Schritte:

- (3000) Steuerung und Bedienung der Bracketherstellungsanlage 39, um die individuellen Brackets zu produzieren.
- (3100) Steuerung und Bedienung der Drahtbiegeanlage 40, um die individuellen Bogendrähte herzustellen.
- (3200) Steuerung und Bedienung der Einsetzhalterfertigungsanlage 41, um individuelle Einsetzhalter für die Platzierung der Brackets an den Zähnen des Patienten herzustellen.

(98) Versand der Apparate

Eine der abschließenden Zielsetzungen besteht darin, dem Kieferorthopäden 14 den individuellen kieferorthopädischen Apparat 25 zu übersenden, zusammen mit Vorrichtungen und Informationen, die für die richtige Installation des Apparates 25 im Mund des Patienten 12 erforderlich sind, um den Patienten durch Bewegen seiner Zähne in die berechneten Endpositionen zu behandeln. Das läßt sich am besten anhand von Fig. 1 verstehen.

Bezug nehmend auf Fig. 1 kann sich, wie oben erläutert wurde, die Konfiguration des bevorzugten Systems 10 unterschiedlich gestalten, je nach Art und Größe der Praxis des Kieferorthopäden. Günstigerweise findet der Konstruktionsanteil der Prozedur (87) vollständig oder zum größten Teil in der Apparatkonstruktions- und Fertigungsstätte 13 statt, obwohl bei einer großen kieferorthopädischen Klinik der gesamte Prozeß am Behandlungsort des Patienten ausgeführt werden könnte. Dennoch erfolgen üblicherweise die Arbeiten des Konstruktionscomputers 30b oder des Konstruktionsteils des Computers 30 in der Konstruktions- und Fertigungsstätte 13, ebenso wie einige der die Herstellung betreffenden Funktionen des Herstellungssteuerungscomputers 30c und der Ausrüstung 38 zur Herstellung der Apparate.

Im Fall der Konfiguration, bei der gemäß Abbildung der Apparat 25 teilweise oder vollständig in der Fertigungsstätte 13 hergestellt wird, wird der individuelle Apparat 25 an den Kieferorthopäden 14 geschickt. Zusammen mit dem Apparat 25 wird eine Dokumentation in Form eines Ausdrucks übersandt, und zwar mit den vom Konstruktionscomputer 30b erstellten Informationen 37, die außerdem eine Dokumentation der Eingabedaten umfassen können, die aus den Daten 26 und den Informationen über die Verordnung 27 bestehen, sowie ein Ausdruck der vom Fertigungscomputer 30c gespeicherten Parameter.

Der übersandte Apparat 25 umfaßt einen Satz Bogendrähte 64, wie sie in den Fig. 8E und 8F dargestellt sind, einen kompletten Satz individueller Brackets 80, wie sie in Fig. 8D und 8F dargestellt sind, sowie die Einsetzhalter, wie sie in Fig. 8D und 9T bis 9W dargestellt sind. Zu den Haltern 82 gehört ein Satz von Paßstücken 84, die dazu dienen, die Schlitze 80b der Brackets 80 nach den koplanaren Schlitzen 84a der Halter 82 auszurichten. Der Apparat und die Bracketeinsetzhalter ähneln sich deshalb im Fall von lingualen Apparaten, wobei ein dazugehöriges Bracket an dem Zahn in Fig. 8G dargestellt, während der linguale Apparat in seiner Positionierung an den Unterkieferzähnen in Fig. 8H gezeigt wird.

Weiterhin werden dem Kieferorthopäden 14 individuelle Bogendrähte 64 zugesandt. Bei diesen Bogendrähten handelt es sich um Bogendrähte in der exakten Form, wie sie in Fig. 8E dargestellt sind, damit die Zähne in ihre berechneten Endpositionen bewegt werden, wie es beispielsweise für die unteren Zähne in Fig. 4D gezeigt wird. Der Bogendraht 64 in Fig. 4D ist im spannungsfreien Zustand dargestellt (oder mit nomineller Restspannung, die zuweilen Kieferorthopäden dazu veranlaßt, eine Überkorrektur zu verordnen), den er erreicht, wenn der Apparat 25 die Zähne des Patienten in die berechneten Endpositionen bewegt hat. Hier handelt es sich um die gleiche Form wie bei dem an den Kieferorthopäden 14 gesandten Bogendraht von Fig. 8E. Dieser für die Finalbehandlung gedachte Bogendraht ist aus einem Material und von einer Steifheit, die dazu dienen sollen, die Zahnendposition zu erreichen. In Abhängigkeit von der Stärke der ursprünglichen Fehlpositionierung der Zähne des Patienten können aber auch weniger steife oder temporäre Bogendrähte für den Beginn der kieferorthopädischen Behandlung angefordert werden. Dem Kieferorthopäden 14 werden also zusätzliche Bogendrähte 64 mit unterschiedlichen Eigenschaften, jedoch mit der in Fig. 8E gezeigten Form angeboten. Weiterhin oder als Alternative zu diesen zusätzlichen Bogendrähten werden dem Kieferorthopäden 14 Zeichnungen in Originalgröße oder Schablonen mit der in Fig. 8E gezeigten Form zur Verfügung gestellt, damit er Bogendrähte für eine Vorbehandlung oder Grundpositionierung formen kann.

Bei anderen Konfigurationen könnten Informationen in maschinenlesbarer Form von einem Konstruktionskomputer 30b, beispielsweise per Diskette 34 oder Modem, zu einem Fertigungscomputer 30c gesandt werden, der an eine oder mehrere Fertigungsanlagen 38 für Apparatkomponenten angeschlossen ist.

#### (89) Behandlung der Patienten

Die Behandlung der Patienten umfaßt zunächst die Zusammenstellung der entsprechenden Kombination von Bracket 80, Halter 82 und Paßstück 84, wie es in Fig. 8D dargestellt ist, sowie das damit erfolgende Einsetzen der Brackets 80 an den Zähnen des Patienten. Dazu gehört das Aufbringen eines Klebemittels, im allgemeinen in der Mitte der Zahnfläche, labial oder lingual, an der die Brackets 80 angebracht werden sollen. Das wird anhand des Beispiels in Fig. 8D (?) veranschaulicht, wobei ein Bracket 80 an der labialen Fläche eines Unterkieferschneidezahns  $T_{0,1}$  befestigt ist. Die Anordnung wird am Zahn positioniert, wobei das Blatt des Halters 82 im allgemeinen in senkrechter labial-linguale Querrichtung durch das ungefähre Zentrum des Zahns ausgerichtet wird, in einer Ebene, die auch als Kronenlängsachse CLA des Zahnes bezeichnet werden kann.

Wenn das Klebemittel ausgehärtet ist, wird der Bracketeinsetzhalter 82 entfernt, indem zunächst das Paßstück 84 mesiodistal herausgezogen und anschließend der Halter 82 von der Schneidkante des Zahns abgezogen wird, wobei das Bracket in der berechneten Position zurückbleibt.

Nachdem sich nun die Brackets 80 an den Zähnen befinden, wird der Bogendraht 64 eingesetzt. Für gewöhnlich ist der zuerst eingesetzte Bogendraht weniger steif als der letzte. Beim Beispiel von Fig. 8F werden die Unterkieferzähne in der in Fig. 4 und 4A gezeigten Ausgangsposition gezeigt. Die Brackets werden genau in denselben Positionen an den Zähnen angebracht, wie sie anhand der berechneten Endpositionen in Fig. 4D dargestellt sind. Da sich die Zähne noch nicht in

ihrer idealen Endposition befinden, wird der Bogendraht 64, wenn er in die Bogendrahtschlitze eingesetzt und an den Brackets 80 befestigt wird, gemäß Fig. 8F in einem elastisch deformierten Zustand gespannt. Dieser gespannte Zustand des Bogendrahts 64 bewirkt, daß die Kräfte auf die Zähne ausgeübt werden, die sie in ihre idealen Positionen von Fig. 4D zwingen, ohne daß der Kieferorthopäde den Draht künstlich biegen muß. Diese Kraft bleibt solange bestehen, bis die Zähne sich an ihre Endpositionen bewegt haben. Bei einigen verordneten Behandlungsformen sind Draht und Brackets so ausgelegt, daß sie die Zähne in eine leicht überkorrigierte Position bringen, so daß nach Entfernen des Apparats 25 eine Entspannungsbewegung erfolgen kann.

## EINZELHEITEN DER SCHRITTE DER APPARATANALYSE, ZAHNPOSITIONSBERECHNUNG SOWIE APPARATKONSTRUKTION UND -FERTIGUNG (87)

Wie oben bereits erwähnt umfaßt der Arbeitsgang der Analyse, Konstruktion und Fertigung (87) die (94) Eingabe, (95) Analyse, (96) Konstruktion, (97) Fertigung und (98) Versendung bei einer computergestützten Fertigung individuell projektierter Apparate.

### Digitalisiertes Eingabeverfahren (94)

Die Eingabe digitalisierter Informationen umfaßt (100) die Eingabe von Identifikationsdaten über Patient und Arzt, (200) die Eingabe von Hintergrundinformationen über den Patienten, (300) die Eingabe digitalisierter Informationen über die horizontalen Abmessungen von Unterkieferzähnen und Unterkieferknochen, (400) die Eingabe der horizontalen Abmessungen der Oberkieferzähne sowie (500) die Eingabe von Informationen über das vertikale labial-linguale Profil jedes einzelnen Zahnes.

### (100) Schritt Eingabe von Identifikationsdaten

Die Eingabe der Arzt-Patient-Identifikationsdaten 17 umfaßt Unterschriften, die ein Operator 28 entsprechend den Anforderungshinweisen für die Texteingabe an einem Computerterminal vornimmt, und zwar die Eingabe des Namens des Arztes, der Identifikation des Arztes und des Namens des Patienten. Anschließend ordnet der Computer 30 die (120) Identifikationsnummer des Patienten zu. Aufgrund dieser Informationen (125) wird eine patientenspezifische Floppy-Disk oder Diskette 34 formatiert.

### (200) Schritt Eingabe von Hintergrundinformationen über den Patienten

Alle Hintergrundinformationen 19 über den Patienten sowie die Informationen über die vom Arzt verordnete Behandlung 27 umfassen von den Hintergrundinformationen 19 das Alter des Patienten, sein Geschlecht und seine Rasse sowie das Auswählen bestimmter Vorgaben aus einer Anzahl von vorgeschlagenen Vorgaben wie:

- ob die Behandlung eine Extraktion beinhaltet, und wenn ja, welcher Zähne;
- ob es sich beim Okklusionstyp um eine Gruppenfunktion oder um eine Eckzahnanhebung handelt, und wenn um eine Eckzahnanhebung, ob Mittelwerte oder ein individueller Kopffilm eingesetzt werden sollen;
- ob der Abstand zwischen den unteren Eckzähnen beibehalten oder eine Erweiterung zugelassen werden soll, und im Falle von letzterem, eine Erweiterung welchen Ausmaßes;
- ob die Okklusion vollständig ist oder nicht;

- ob ein Steiner-Kompromiß zulässig ist;
- ob eine Roth- oder Ricketts-Einlage an den oberen zweiten Schneidezähnen eingesetzt werden soll, und wenn ja, welche;
- ob ein oberer lateraler Überbiß nach Roth oder Andrews gegeben ist, und wenn ja, welcher;
- ob der Fall mit einem labialen oder einem lingualen Apparat behandelt werden soll;
- ob der Fall mit Hilfe von Symmetrie diagnostiziert werden soll oder nicht; oder
- wie der Winkel zwischen den Schneidezähnen bestimmt werden soll, nach dem Andrews-Verfahren, dem Verfahren 'parallele obere Schneidezähne zu Fazialachse' oder dem Ricketts-Verfahren.

(300) Schritt digitale Bildeingabe in bezug auf den Unterkiefer

Die Eingabe von Bildern oder Draufsichtgrafiken vom Unterkiefer des Patienten, einschließlich der Zähne, ist in Fig. 3 dargestellt und umfaßt die Digitalisierung und Verarbeitung von Daten über die Breite der Unterkieferzähne sowie von Größe und Form des Mandibularknochens oder Unterkieferknochens 22 des Patienten 12 aus der horizontalen Draufsicht des Unterkiefers wie in Fig. 4. Die Wurzeln der unteren Zähne des Patienten sind in der Mandibularalveolenmulde *MT* enthalten, die als Raum zwischen den Grenzen *B<sub>L</sub>* und *B<sub>B</sub>* von Fig. 4 definiert ist. Die äußere oder bukkale bzw. innere oder linguale Grenze *B<sub>B</sub>* bzw. *B<sub>L</sub>* werden günstigerweise durch den Operator 28 mittels interaktiver Selektion digitalisiert, und zwar aus einem Bild 48 der Kompakta des Unterkiefers 22 auf dem Bildschirm 35. Außerdem müssen die Unterkieferzähne in Kontakt miteinander im Bogen liegen. Jeder von ihnen nimmt einen Bogenabschnitt ein, der dem Abstand zwischen ihren mesialen und distalen Kontaktpunkte zum Nachbarzahn entspricht. Ein Raster *G* wird darübergelegt, um die XY-Koordinaten zu definieren, wobei die Y-Achse auf einer Mittellinie *ML* des Unterkiefers 22 und die X-Achse lotrecht zur Y-Achse durch einen ausgewählten Schnittpunkt oder Nullpunkt *0,0* verläuft, vorzugsweise an einem mesialen Kontaktpunkt der unteren mittleren Schneidezähne.

Der Operator wählt nacheinander jeden Punkt aus, zunächst für die einzelnen Zähne die Kontaktpunkte, dann die Kieferknochengrenzen. Aus den XY-Koordinaten von *M<sub>xy</sub>*, *M<sub>x</sub>* und *M<sub>y</sub>* sowie von *D<sub>xy</sub>*, *D<sub>x</sub>* und *D<sub>y</sub>* wird die mesiodistale Breite *MDW* eines jeden Zahns / auf beiden Seiten des Unterkiefers 22 mit Hilfe des Lehrsatzes des Pythagoras berechnet:

$$MD = \sqrt{(M_x + D_x)^2 + (M_y + D_y)^2}$$

worin

*M<sub>x</sub>* die mandibulare X-Koordinate;

*M<sub>y</sub>* die mandibulare Y-Koordinate,

*D<sub>x</sub>* die distale X-Koordinate und

*D<sub>y</sub>* die distale Y-Koordinate ist.

Aus den ausgewählten Schnittpunkten der Linien des Rasters *G* mit den Unterkiefergrenzen *B<sub>B</sub>* und *B<sub>L</sub>*

werden die kartesischen Koordinaten  $La_{xy}$  und  $Li_{xy}$  der labialen und lingualen Grenzen der Kompakta auf beiden Seiten des Unterkiefers gebildet, und Mittelpunktkoordinaten  $MP_{xy}$  werden berechnet, ebenso wie die Knochenbreitenabstände zwischen jedem der jeweiligen labio-lingualen Paare  $DLL$ , und zwar folgendermaßen:

$$MP_x = La_x + \frac{Li_x - La_x}{2}; MP_y = La_y + \frac{Li_y - La_y}{2}$$

$$DLL = \sqrt{(La_x + Li_x)^2 + (La_y + Li_y)^2}$$

Die Summe der einzelnen Unterkieferzahnbreiten  $MDW$  ist gleich der Gesamtzahnlänge oder Mandibularbogenlänge  $MAL$ , die in der Mandibularalveolenmulden-Funktion  $MTE$  enthalten ist, welche durch die Punkte  $MP_{xy}$  konstruiert ist.  $MAL$  wird als Bogenumfang bezeichnet.

In diesem Stadium werden die Mittelpunkte normalerweise von rechts nach links gemittelt, um jede Asymmetrie auszuschalten, die aufgrund von leichten Meßfehlern vorhanden sein könnte, es sei denn, beim Patienten wurde eine asymmetrische Anatomie diagnostiziert.

Die in Fig. 4 gezeigte Mittellinie  $ML$  stellt die Achse derartiger Symmetriekorrekturen dar. Die Korrekturen für jeden Punkt  $MP_{xy}$  werden folgendermaßen berechnet:

$$S_x = MP_x + \frac{PR_x - PL_x}{2}; S_y = MP_y + \frac{PR_y - PL_y}{2}$$

worin

$S_{xy}$  der einer Symmetrierung unterzogene Punkt  $MP_{xy}$ ,

$PR_{xy}$  der Punkt  $MP_{xy}$  auf der rechten Seite, und

$PL_{xy}$  der entsprechende Punkt auf der linken Seite der Mulde ist.

Nach Abschluß dieser Symmetrierung wird eine mathematische Funktion  $MTE$ , welche Größe und Form der Mandibularalveolenmulde beschreibt, abgeleitet, indem eine Kurve an die Punkte  $MP_{xy}$  angepaßt wird. Vorzugsweise wird diese Kurve abgeleitet, indem eine Reihe von Funktionen wie eine kubische Spline-Funktion angepaßt wird, damit sie glatt durch die Punkte verläuft, beispielsweise die gemittelten Mittelpunkte  $S_{xy}$ .

Anschließend werden die kubischen Funktionen vorzugsweise in bezug auf ihre Form umgewandelt in eine Reihe von Segmenten sich einander berührender Kreisfunktionen mit Anstiegen, die mit den Anstiegen der kubischen Splines an den Mittelpunkten identisch sind, ebenso wie mit den Anstiegen der angrenzenden Kreissegmente an den Segmentendpunkten oder an ihren Schnittpunkten an der Kurve. Um eine kubische Funktion mit Quadratwerten anzupassen, werden zwei Kreise  $CS$  und  $CL$  benutzt, um jedes Segment der  $MTE$  zwischen den Mittelpunkten zu beschreiben, wie in Fig. 5 dargestellt ist. Dadurch wird eine glatte aus tangentialen Kreisen bestehende Kurve ermöglicht, die die Mandibularalveolenmulde repräsentiert. Das Verfahren der

Spline-Kreis-Umwandlung wird unten ausführlicher als Routine (2100) beschrieben.

Wie aus Fig. 4 ersichtlich, werden kartesische Koordinaten für die rechten und linken mandibulare Eckzahn-Höcker *CR* und *CL* eingegeben. Anschließend wird der Abstand *DCT* zwischen den Höckern *CR* und *CL* der beiden Unterkiefer Eckzähne berechnet:

$$DCT = \sqrt{(CR_x + CL_x)^2 + (CR_y + CL_y)^2}$$

Diese Angaben werden genutzt um zu berechnen, ob und wie der Abstand zwischen den Unterkiefer Eckzähnen verändert werden muß, und um einzuschätzen, ob die berechnete Endposition akzeptabel ist. In ähnlicher Weise werden kartesische Koordinaten der rechten und linken mesio-bukkalen Höcker *MR* und *ML* der ersten Unterkiefermolare berechnet, und der Abstand zwischen diesen Punkten *DMT* wird errechnet:

$$DMT = \sqrt{(MR_x + ML_x)^2 + (MR_y + ML_y)^2}$$

Diese Angaben dienen dazu, festzustellen, ob und wie der Abstand zwischen den Unterkiefermolaren zu ändern ist.

(400) Schritt digitale Bildeingabe in bezug auf den Oberkiefer

Ebenso wie bei den Informationen zum Unterkiefer, die im Zusammenhang mit Fig. 4 beschrieben werden, wird auf die gleiche Weise ein Computerbild vom oberen Modell 23 des Oberkiefers aus dem in Fig. 4A dargestellten Bild 48a erstellt.

Die Koordinaten *R<sub>x,y</sub>* und *L<sub>x,y</sub>* der mittleren Fossae des rechten und linken ersten Oberkiefermolars werden eingegeben. Anschließend wird der Abstand zwischen den mittleren Fossae *DCF* folgendermaßen berechnet:

$$DC = \sqrt{(R_x + L_x)^2 + (R_y + L_y)^2}$$

Diese Angaben werden, nachdem die Zahnendpositionen berechnet wurden, erneut berechnet, damit eine Übereinstimmung mit dem *DMT*-Abstand der ersten Unterkiefermolare gegeben ist. Außerdem werden diese Informationen mit der ersten Messung verglichen, als Indikator dafür, ob bei der Behandlung eine Veränderung der intermolaren Weite vorgenommen wird und, wenn ja, welches Ausmaß eine derartige Änderung haben muß.

(500) Schritt Eingabe der digitalisierten Abtaster-Zahnprofile

Bei diesem Schritt werden ausgewählte Profile von jedem der Zähne entweder vom Modell 20, von einer digitalisierten dreidimensionalen Darstellung der Zähne des Patienten oder vom Modell erstellt, wie aus Fig. 3A und 3B ersichtlich. Bei der dargestellten Ausführung wird für diesen Schritt die Abtaster-Einheit 57 von Fig. 1B eingesetzt.

Die Auswahl der Profilebene wird in Fig. 6 veranschaulicht, wobei ein erstes Profil *PF<sub>A</sub>* durch das Zentrum des Zahn gezeigt ist, was daraus ersichtlich ist, daß die bukkalen Höcker fehlen, die die

maximale Kronenhöhe des Zahns darstellen. Anschließend wird das Profil  $PF_B$  mit bukkalem Höcker ausgewählt, wobei sich die Profilleiste offenbar im allgemeinen nach dem Tiefpunkt von  $PF_A$  ausrichtet. Andererseits kann das Profil nichtplanar sein, so daß es die wichtigen Merkmale beider Ebenen enthält. In diesem Fall ist das erzeugte Profil vergleichbar mit einer Projektion auf eine Ebene der relevanten äußeren Grenzen des Zahns. Die sich ergebenden Profile  $PF_i$  sind in Fig. 3C dargestellt.

## (95) Prozedur Analyse und Berechnung Zahnendpositionen

Die Berechnung der Zahnendpositionen umfaßt, wie im Flußdiagramm von Fig. 2B gezeigt, (600) die Bestimmung der relativen Positionen der geometrischen Meßpunkte auf den Zahnflächen und Festlegung der Achsenneigung der Zähne, (700) die Berechnung der Eckzahnanhebung, (800) die anfängliche Positionierung der Unterkieferzähne, in vertikaler Richtung sowie im Verhältnis zur Mandibularalveolenmulde, (900) die Berechnung einer Best-fit-Höckerspitzen-Funktion für die Unterkieferzähne, und (1000) die Berechnung der Endpositionen der Unterkieferzähne auf der Best-fit-Funktion und (1100) die Berechnung der Endposition der Oberkieferzähne, mit der Best-fit-Funktion korrelieren, auf drei Bögen.

### (600) Schritt Identifikationsanalyse der Zahnmeßpunkte

Die Eingabedaten 26 werden analysiert, um weitere Parameter für die Berechnung der Zahnendpositionen sowie für (96) die Konstruktion des Apparats 25 zu entwickeln oder abzuleiten. Bei der Zahnpositionierungsanalyse (95), wie sie im Ablaufschema von Fig. 2B dargestellt ist, wird eine (600) Zahnprofilanalyse durchgeführt, bei der in Abhängigkeit von dem zu analysierenden Zahn beispielsweise bestimmte anatomische Meßpunkte ausgewählt werden.

Beim Schritt der Zahnprofilanalyse werden einzelne Bilder 63 der Profilkurven  $PF_i$  jedes Zahns (Fig. 3C) getrennt auf den Bildschirm des Computers 30b geladen, um die Meßpunkte auszuwählen.

Unter Verwendung der Bilder 63 der Profilkurven  $PF_i$  werden spezifische Meßpunkte ausgewählt, zunächst für die Molare und Prämolare des Unterkiefers. Die ausgewählten Punkte werden gemäß Fig. 6 digitalisiert. Bei den ausgewählten Punkten handelt es sich um folgende:

Punkt  $P_1$ : Linguale (zungenseitiger) Schnittstelle zwischen Zahnfleisch und Zahn.

Punkt  $P_2$ : Vorsprung des lingualen Höckers.

Punkt  $P_3$ : Vorsprung des bukkalen (backenseitigen) Höckers.

Punkt  $P_4$ : Bukkale Schnittstelle zwischen Zahnfleisch und Zahn.

Aufgrund dieser Meßpunkte wird die (615) Kronenlängsachse  $CLA$  von jedem Molar und Prämolare, dessen Profil aufgenommen wurde, bestimmt. Diese Bestimmung erfolgt, indem eine erste Linie  $L_1$  zwischen den Punkten  $P_2$  und  $P_3$  sowie eine zweite Linie  $L_2$  zwischen den Punkten  $P_1$  und  $P_4$  konstruiert wird. Die Kronenlängsachse  $CLA$  eines Zahns ist die Linie zwischen den Mittelpunkten von  $L_1$  und  $L_2$ .

Ein Punkt, der abstandsgleich zwischen den Punkten  $P_1$  und  $P_4$  auf der Linie  $L_2$  liegt, wird berechnet, und ein Punkt, der abstandsgleich zwischen den Punkten  $P_2$  und  $P_3$  auf der Linie  $L_1$  liegt, wird ebenfalls berechnet und als Gingivamittelpunkt  $GCP$  definiert.

Die Linie, die die Kronenlängsachse  $CLA$  definiert, wird mit Hilfe folgender Gleichung



konstruiert:

worin:

$X_{2-3}, Y_{2-3}$  = X- und Y-Koordinaten des Mittelpunktes  $P_{2-3}$

$$\frac{Y - Y_{2-3}}{X - X_{2-3}} = \frac{Y_{GCP} - Y_{2-3}}{X_{GCP} - X_{2-3}}$$

$X_{GCP}, Y_{GCP}$  = X- und Y-Koordinaten des Gingivamittelpunktes  $GCP_{x,y}$  ist.

Für Molare und Prämolare wird der Punkt  $P_3$ , die bukkale Höckerspitze, als Schneidkantenmittelpunkt  $ICP$  definiert.

In ähnlicher Weise werden die anatomischen Meßpunkte und Kronenlängsachsen für die Eck- und Schneidezähne des Unterkiefers bestimmt, wie in Fig. 6B dargestellt ist. Die in Fig. 6B mit  $P_1$  bis  $P_4$  bezeichneten Punkte werden folgendermaßen ausgewählt:

Punkt  $P_1$ : Linguale Schnittstelle von Zahnfleisch und Zahn.

Punkt  $P_2$ : Lingualer Aspekt der Schneidkante.

Punkt  $P_3$ : Bukkaler Aspekt der Schneidkante.

Punkt  $P_4$ : Faziale Schnittstelle von Zahnfleisch und Zahn.

Wie bei den Prämolaren und Molaren werden die Linien  $L_1$  und  $L_2$  konstruiert. Die Meßpunkte im Fall der in Fig. 6B dargestellten Zähne wurden deshalb gewählt, weil sie verhältnismäßig tolerant sind gegenüber Fehlern des Operators bei der Auswahl. Das wird anhand der gestrichelten Linien als mögliche Alternativen zu  $L_2$  in Fig. 6B deutlich. Ausgehend von diesen Meßpunkten wird die Kronenlängsachse  $CLA$ , wie oben definiert, festgelegt, und zwar durch Verbindung der Mittelpunkte von  $L_1$  und  $L_2$ .

Beim Oberkiefergebiß werden für jeden oberen Molar und Prämolare anatomische Meßpunkte identifiziert und ausgewählt, wie in Fig. 6C dargestellt; was die Auswahl eines fünften Punktes  $P_5$  erforderlich macht.

Punkt  $P_5$ : Mesiale Randleiste des Zahns an der zentralen Höckerfurche.

Wie im folgenden in Fig. 6D dargestellt ist, werden anschließend Ausgangswerte für die Kronenlängsachsenneigung  $LAI$  für die Zähne festgelegt. Ursprünglich können solche Ausgangswerte von Analysen abgeleitet sein, die die faziale Achsenebene  $FAP$  durch den fazialen Achsenpunkt  $FA$  des Zahns identifizierten (die Mittelpunkte der Höhe der klinischen Kronen auf der fazialen Achse der klinischen Kronen).

Die Computerbilder, wie sie in Fig. 3C für jeden Zahn zusammengefaßt sind, werden anschließend gedreht, so daß die  $CLA$  nach dem gewünschten Winkel  $LAI$ , dem Längsachsenneigungswinkel, gegenüber der Mandibularalveolenmuldenebene  $MT$  ausgerichtet ist. Daraus errechnen sich die Endneigungen der Zähne, die in den Berechnungen unten enthalten sind. Das ergibt die ausgerichteten Profile  $PF$ , die in Fig. 6E zusammengefaßt sind.

Sind die Zahnprofile einmal in die Neigungswinkel  $LAI$  gedreht, lassen sich bestimmte vertikale Abmessungen und Grenzwerte festlegen. Ausgehend von den digitalisierten Profilkurven, die

im Speicher in Form einer Reihe von dicht beieinander liegenden Punkten abgelegt sind, werden die genauen Schneidkantspitzen  $IC$ , wie in Fig. 6F, 6H und 6I dargestellt, an den Eckzähnen, den ersten und zweiten Schneidezähnen identifiziert.

Außerdem wird die Anhebung der Randleiste  $P_5$  identifiziert. Die Randleistenanhebung  $MRE$ , die dem vertikalen Abstand zwischen  $P_3$  und  $P_5$  entspricht, wird an den hinteren Oberkieferzähnen identifiziert, weil diese die zentrischen Haltepunkte für die bukkalen Höcker der Molare und Prämolare des Unterkiefers darstellen. Die  $MRE$  wird als Bukkalhöckerhöhe  $BCH$  in den Berechnungen der Eckzahnanhebung und der Bogendrahtebenenstellung eingesetzt, wie unten in der Diskussion von Fig. 7A bzw. 8 beschrieben wird.

#### (700) Schritt Festlegung der Eckzahnanhebung

Die Eckzähne ( $I = 3$ ) befinden sich nahe der Vorderseite des Mundes und sind daher weiter vom Gelenk- oder Drehpunkt  $PP$  des Kiefers entfernt als die hinteren Zähne ( $I > 3$ ), wie aus den Abständen  $DJ$ , in Fig. 7 ersichtlich ist. Das führt dazu, daß sich die Zähne, die weiter hinten im Mund liegen, weniger bewegen als die Eckzähne an der Öffnung. Diese Differentialrate der Bewegung muß in die Berechnung der Eckzahnanhebung mit einbezogen werden, sonst bleiben die hinteren Zähne in Kontakt, nachdem sich die Eckzähne gegeneinander geöffnet haben. Außerdem muß der Abstand  $DPP$  zwischen der Okklusionsebene und dem Drehpunkt  $PP$  der Kiefergelenke berücksichtigt werden, wie er in Fig. 7 dargestellt ist.

Wird eine Eckzahnanhebung zur Verbesserung der Okklusion verordnet, wird der Beitrag der Eckzahnanhebung vorzugsweise zwischen den Eckzähnen des Ober- und Unterkiefers aufgeteilt, wobei zwei Drittel der Eckzahnanhebung von den Oberkiefer Eckzähnen geleistet werden und ein Drittel von den Unterkiefer Eckzähnen.

Der ursprüngliche vertikale Abstand oder die Bukkalhöckerhöhe  $BCH$  von  $P_3$  zur Randleiste für jeden der rechten und linken maxillaren ersten Prämolare  $T(U,4)$ , der zweiten Prämolare  $T(U,5)$ , der ersten Molare  $T(U,6)$  und der zweiten Molare  $T(U,7)$  ist in Fig. 6C dargestellt. Ausgehend von anatomischen Untersuchungen wird dann die vertikale Eckzahnanhebungshöhe  $CR$ , die für die Bewegung des jeweiligen Zahnpaars in die erforderliche Stellung erforderlich ist, festgelegt, indem zunächst die Werte in Tabelle 1 berechnet werden, die von den Kieferabmessungen  $DPP$  und  $DJ$ , in Fig. 7 abgeleitet sind.

$$1,67 \times BCH \text{ von } T(U,7)$$

$$1,50 \times BCH \text{ von } T(U,6)$$

$$1,36 \times BCH \text{ von } T(U,5) \text{ und}$$

$$1,20 \times BCH \text{ von } T(U,4)$$

TABELLE 1

Anschließend wird von den Produkten der Multiplikation der Bukkalhöckerhöhe  $BCH$  mit dem oben aufgelisteten Anhebungsfaktor ausgehend der höchste Wert ausgewählt. Das betreffende Produkt stellt die Eckzahnanhebung dar, die erforderlich ist, um eine Bewegung des am meisten

vorragenden Höckers in die erforderliche Stellung und eine Gruppenfunktionsokklusion zu ermöglichen. Das wird durch  $BCH_6$  in Fig. 7A veranschaulicht für den Fall, daß sich die ersten Molare zuletzt öffnen.

(800) Schritt Anordnung der Unterkieferzähne

Bei der ersten Berechnung werden die Spitzen der Unterkieferzähne auf einer Okklusionsebene angeordnet, vorläufig ohne letzte Feinheit der Anordnung, wie schematisch in Fig. 6E dargestellt ist. Bei diesem Schritt werden die Neigungen der Kronenlängsachsen  $CLA$  der Unterkieferzähne beibehalten, und die Zähne werden entlang ihrer  $CLAs$  nach oben bewegt, bis sich ihre Spitzen in Ausrichtung mit der Ebene der Oberkante des längsten Zahns befinden. Die  $CLAs$  werden so angeordnet, daß sie die  $MTE$  unterhalb des Zahn- $GCP$  schneiden. Da die Zähne mit unterschiedlichen  $LAIs$  oder Längsachsenneigungswinkel geneigt sind, sind die Zahnspitzen jeweils unterschiedlich von der  $MTE$  verschoben und liegen somit nicht in einem glatten Bogen.

Der längste Unterkieferzahn außer den Eckzähnen wird identifiziert. In Fig. 6F wird das anhand des ersten Unterkieferschneidezahns veranschaulicht. Der längste Zahn ist der mit der größten Krönenhöhe  $CH$ . Die Krönenhöhe  $CH$  ist der Abstand in Y-Richtung (wobei die Zahnprofile ausgerichtet sind, wie in Schritt (600) beschrieben ist) zwischen dem  $GCP$ , dem Schnittpunkt der Linie  $L_2$  mit der Kronenlängsachse  $CLA$ , und dem höchsten Punkt des bukkalen Höckers, z. B. von  $P_3$  (für die hinteren Zähne), wie in Fig. 6F dargestellt, und (für die Vorderzähne) entweder zu den Schneidkantenmittelpunkten  $ICP$  oder vorzugsweise zu den Schneidkantenspitzen  $IC$ , wie in Fig. 6G dargestellt. Die Krönenhöhe  $CH$  des längsten Zahns ist die maximale Krönenhöhe  $MCH$  der Unterkieferzähne, wie anhand des mandibularen ersten Schneidezahns in Fig. 6F dargestellt ist.

Drei parallele Ebenen werden festgelegt:

- eine mit  $MCHP$  bezeichnete  $MCH$ -Referenzebene parallel zur X-Achse, die den Nullpunkt  $0,0$  durchläuft, und zwar am  $GCP$  des längsten Zahns (Fig. 6F und 6I);
- eine Bukkalhöckerebene  $BCP$  parallel zur X-Achse, die die Koordinaten  $0,MCH$  auf dem längsten Zahn durchläuft (Fig. 6F und 6I); und
- eine Eckzahnanhebungsebene  $CRP$  parallel zur X-Achse, die die Koordinaten  $0,CR$  durchläuft, wobei  $CR$  die Eckzahnanhebung ist, die im Schritt (700) berechnet worden ist, in dem die Eckzahnanhebungsoption gewählt wurde.

Wenn die Ebenen definiert sind, werden die ausgerichteten Unterkieferzähne so angeordnet, daß der höchste Punkt auf dem bukkalen Höcker  $P_3$  oder die Schneidkantenspitze  $IC$  eines jeden die Bukkalhöckerebene  $BCP$  berührt, und zwar bei allen Zähnen außer den Eckzähnen, wie weiterhin in Fig. 6F dargestellt ist. Die  $BCP$  wird dabei als Okklusionsebene  $MOC$  festgelegt. Die Referenzebene  $MCHP$  wird mit der Ebene der Mandibularalveolenmulde  $MT$  gleichgesetzt. Dadurch wird der  $GCP$  des längsten Zahns auf die  $MT$  gebracht, wobei die  $GCPs$  der übrigen Zähne darüber liegen. Dadurch wird weiterhin die Okklusionsebene  $MOC$  in einem Abstand  $MCH$  von der Mandibularalveolenmulde  $MT$  festgelegt. Der absolut höchste Punkt auf einer Zahnkrone wird günstigerweise zur Ausrichtung der Zähne mit der  $BCP$  genutzt. Ein solcher Punkt kann durch eine zusätzliche Punktauswahl in Schritt (500) bestimmt werden, indem der Punkt  $IC$  für die präzise Schneidkantenspitze direkt ausgewählt

wird oder indem vorzugsweise der höchste Punkt aus den Profilen von Fig. 3C oder aus den dreidimensionalen Bildern wie in Fig. 3A und 3B, nachdem die Zähne in ihre Endneigungswinkel  $LAI$  am Ende von Schritt (600) gedreht worden sind, berechnet wird.

An dieser Stelle werden die vertikalen Positionen der Unterkieferzähne berechnet, die sich zueinander verhalten wie in Fig. 6F und 7C. Dann werden die Zähne horizontal in vorübergehende Positionen gegenüber der  $MTE$  gebracht, die in der Ebene der Mandibularalveolenmulde  $MT$  ( $MCHP$ ) liegt.

Das bevorzugte Ziel besteht darin, eher die Zahnspitzen im glattesten Bogen auf einer Okklusionsebene  $MOC$ , als ihre Gingiva-Aspekte im glattesten Bogen an der Mandibularalveolenmulde  $MT$  zu positionieren, so daß ein horizontaler Abstand  $OFFSET$  für jeden Zahn berechnet wird, und zwar auf der Grundlage des Zahns und der Kronenlängsachsenneigung  $LAI$ , die im Schritt (600) festgelegt wurde. Dieses Offset ist der horizontale Abstand zwischen der  $MTE$  und den Zahnspitzen, wenn ihre  $GCPs$  auf der  $MTE$  angeordnet sind.

Für die ersten und zweiten Schneidezähne sowie die Eckzähne des Unterkiefers wird das  $OFFSET$  durch Division berechnet, und zwar durch die Tangente  $LAI$ , den vertikalen Abstand zwischen (1) dem Schnittpunkt von Kronenlängsachse  $CLA$  und Schneidkantenspitze  $IC$  und dem Schnittpunkt von  $CLA$  und Referenzebene der maximalen Höckerhöhe,  $MCHP$ . Der vertikale Abstand zwischen  $IC$  und  $MCHP$  kann berechnet werden (gleich der Y-Koordinate des Punktes  $IC$ , was den vertikalen Abstand der Schneidkantenmitte,  $ICD$ , ergibt). Für die ersten und zweiten Schneidezähne des Unterkiefers ist  $ICD$  gleich  $MHC$ . Für die Unterkiefereckzähne ist  $ICD$  gleich der mandibularen Eckzahnanhebungskomponente, die  $MHC + (Total\ CR)/3$  beträgt, wenn die Okklusion der Eckzahnanhebungsfunktion gewählt wurde. Die Berechnung des  $OFFSET$  für die ersten und zweiten Schneidezähne sowie die Eckzähne würde also für die ersten und zweiten Schneidezähne folgendermaßen vonstatten gehen:

$$OFFSET = ICD / \tan(LAI).$$

Gemäß Fig. 6F wird für die Prämolare und Molare des Unterkiefers das  $OFFSET$  als horizontaler Abstand zwischen Punkt  $P_3$  und dem Schnittpunkt von  $CLA$  und  $MCHP$  wie folgt berechnet:

$$OFFSET = [MCH / \tan(LAI)] + HD,$$

worin  $HD$  gleich dem horizontalen Abstand zwischen Punkt  $P_3$  und dem Schneidkantenmittelpunkt  $ICP$  ist.

Der Punkt der Anordnung der Mandibularalveolenmulde,  $MTPP$ , wird gemäß Fig. 6G und 6H als Schnittpunkt von  $MCHP$  und  $CLA$  definiert. Für den längsten Zahn entspricht  $MTPP$  seinem  $GCP$ , wie in Fig. 6I dargestellt ist. Der  $MCHP$  befindet sich in Höhe der Mandibularalveolenmulde und enthält die  $MTE$ . Der  $MTPP$  ist der Punkt am Zahn, der ursprünglich auf der  $MTE$  angeordnet ist.

Als nächstes werden unter Bezugnahme auf Fig. 7B und 7C die Zähne mit ihren  $MTPPs$  auf der Mandibularalveolenmulde angeordnet, jedesmal auf einer Seite. Um das zu erreichen, wird eine Zahnanordnungsroutine eingesetzt, bei der die Mandibularalveolenmulden-Funktion  $MTE$  zunächst für die Unterkieferschneidezähne angepaßt wird, so daß die Radii durch die Größe des zentralen  $OFFSET$  für den betreffenden Zahn vergrößert werden, wie oben definiert, um die Mandibularal-

veolenmulden-Offset-Kurve  $MO(1)$  von Fig. 4B zu bilden. Die genannten Radii der  $MTE$  sind diejenigen der  $MTE$ , die in der Kreissegmentform der in Schritt (300) erzeugten Funktion definiert wurden, und zwar mit der Spline-Kreis-Umwandlungsroutine. Die  $OFFSETS$  der Zähne sind unterschiedlich, die  $MO$  kann als unstetig angesehen werden, wenn sie auf diese Weise konstruiert wird und aus Segmenten besteht, von denen jedes die Spitze eines Zahns enthält und aufgrund der Größe des  $OFFSET$  des einzelnen Zahns labial-lingual mit Abstand von der  $MTE$  angeordnet wird.

Beginnend von der linken Seite wird der erste Schneidezahn angeordnet, wie in Fig. 7B dargestellt, indem sein mesialer Kontaktpunkt  $MCP$  am Schnittpunkt der Mittellinie  $ML$  mit der Offsetkurve  $MO$  für den Zahn angesetzt wird. Das führt dazu, daß der  $MTPP$  des Zahns, der den Schnittpunkt der  $CLA$  mit  $MHCP$  oder  $MT$  darstellt, auf der  $MTE$  und der Schneidkantenspitze  $IC$  des Zahns auf  $MO$ , plaziert wird. Die Zahnanordnung auf der Kreissegmentform einer Funktion wird bei der Beschreibung der Zahnanordnungsroutine ausführlich erläutert. Bei der Anordnung des ersten Schneidezahns wird ein Kreis  $C_1$  konstruiert, und zwar mit einem Radius, der gleich der mesiodistalen Breite,  $MDW$  des ersten Schneidezahns ist, sowie mit dem Mittelpunkt des Kreises  $C_1$  am mesialen Kontaktpunkt  $MCP$  des Zahns am Schnittpunkt der Mittellinie  $ML$  mit der Offsetkurve  $MO$ . Anschließend wird der Kreis  $C_2$  konstruiert mit einem Radius, der gleich  $MDW/2$  ist, und mit einem Mittelpunkt, der mit dem Mittelpunkt des Kreises  $C_1$  zusammenfällt. Dann werden die Schnittpunkte der Mulden-Offsetkurve  $MO$  mit den Kreisen  $C_1$  und  $C_2$  ermittelt, wobei der Schnittpunkt mit dem Kreis  $C_1$  der distale Kontaktpunkt  $DCP$  des Zahns ist und der Schnittpunkt mit dem Kreis  $C_2$  der Zahnmittelpunkt  $TMP$  des ersten Schneidezahns ist. Der Zahnmittelpunkt  $TMP$  wird hierbei als Mittelpunkt der mesiodistalen Breite des auf einer Bogenform angeordneten Zahns definiert, wobei es sich um den Schnittpunkt der Bogenform mit einer labial-lingualen Ebene handelt, welche die  $CLA$  enthält. Dieser Mittelpunkt  $TMP$  des ersten Schneidezahns auf der  $MO$  ist die annähernde Position der Schneidkantenspitze  $IC$ .

Bei der Bestimmung der Schnittpunkte der Kreise mit der Offset-Muldenkurve  $MO$  oder den erweiterten Mandibularalveolenmulden muß festgelegt werden, welche Kreissektorlinien (Fig. 5-5P) die Kreise  $C_1$  und  $C_2$  schneiden. Sie werden identifiziert durch Vergleich der X-Koordinaten der Schnittpunkte mit den X-Koordinaten der distalen Kontaktpunkte  $DCP$  jedes der ersten Schneidezähne, so daß ermittelt wird, welche Segmente der Muldenfunktion genutzt werden, wie bei der Beschreibung des Zahnanordnungsverfahrens ausführlicher erläutert wird.

Abschließend wird eine distale Kontaktpunktlinie  $DCPL$  für den ersten Schneidezahn durch den  $DCP$  konstruiert, und zwar am Schnittpunkt des Kreises  $C_1$  mit der  $MO$  und durch die Mitte des identifizierten Kreissegments der  $MO$ , der erweiterten  $MTE$ , auf der der  $DCP$  des Zahns liegt. Diese Linie läuft entlang dem Radius des Kreissegments der  $MO$ -Kurve durch den distalen Kontaktpunkt des ersten Schneidezahns. Ähnliche Linien  $DTMP$  werden für die Mitte des Zahns  $TMP$  konstruiert.

Für jeden verbleibenden Unterkieferzahn auf derselben Bogenform wird in distaler Reihenfolge ein neues Mandibularalveolenmulden-Offset  $MO$ , berechnet, indem die  $MTE$  mit Krümmungsradii, die um die Größe des  $OFFSET$  des nächsten Zahns erhöht ist, sowie mit dem Mittelpunkt der Kreise  $C_1$  und  $C_2$  erweitert wird, die labial oder von der  $MTE$  nach außen bewegt werden, und zwar entlang der distalen Kontaktpunktlinie  $DCPL$  des vorhergehenden Zahns und um

die Größe des *OFFSET* des betreffenden Zahns. Das ist der *MCP* für den nächsten Zahn. Kreis  $C_1$  für den Zahn wird mit einem Radius konstruiert, der gleich der mesiodistalen Breite des Zahns ist, wobei sein Mittelpunkt im Mittelpunkt *MCP* liegt. Kreis  $C_2$  wird mit einem Radius konstruiert, der gleich der *MDW/2* ist, wobei der Mittelpunkt mit dem Kreis  $C_1$  zusammenfällt.

Bei Prämolaren und Molaren kann der Zahnmittelpunkt *TMP* als ihr Punkt  $P_3$  angesehen werden. Anschließend werden wie bei den ersten Schneidezähnen für diese Zähne die Schnittpunkte von *MO* und den Kreisen  $C_1$  und  $C_2$  berechnet. Die distalen Kontaktpunkte *DCT* dieser Zähne liegen an den Schnittpunkten von *MO* für den Zahn und den entsprechenden Kreisen  $C_1$ . Die Zahnmittelpunkte *TMP* befinden sich an den Schnittpunkten von *MO* des Zahns und den entsprechenden Kreisen  $C_2$ . Die *MO*-Sektorsegmente, die die Kreise schneiden, werden identifiziert. Die Auswahl erfolgt, indem die XY-Koordinaten der Schnittpunkte mit den XY-Koordinaten der distalen Kontaktpunkte *DCP* verglichen werden. Abschließend wird eine distale Kontaktpunktlinie *DCPL* vom Mittelpunkt des ausgewählten Segments zur Ebene *DCP* konstruiert. Dasselbe geschieht für die Zahnmittelpunkte *TMP*. Wenn im folgenden von Zahnanordnung die Rede ist, wird vorzugsweise in dieser Reihenfolge vorgegangen.

#### (900) Schritt Best-fit-Funktion für den Unterkieferbogen

Die unstetige Offset-Funktion  $MO_c$  enthält die annähernden Zahnspitzen in der Okklusionsebene *MOC*, wobei die Zähne einen unregelmäßiges Offset, ausgedrückt durch die unstetigen *MO*-Linien in Fig. 4B, aufweisen. Um die Zahnspitzen in einem idealen Bogen anzuordnen, wird eine (900) Gleichung für eine abschließende bessere Anordnung der bukkalen Höcker und der Schneidkanten der Unterkieferzähne in einem stetigen Bogen entwickelt.

Es wird die Funktion statistisch entwickelt, die zu den Höckerspitzen und Schneidkanten der einzelnen Zähne am besten paßt: eine Best-fit-Bukkalhöcker-Funktion *BFBCE*. Bei der Formulierung der Funktion werden die Koordinaten der rechten und linken Zahnmittelpunkte *TMP*, die *ICPs* oder *ICs* in Fig. 7B, vorzugsweise gemittelt. Die Funktion *BFBCE* läßt sich mit Hilfe polynomer oder anderer Bézier- oder zumindest quadratischer statistischer Verfahren erhalten, so daß sich eine Best-fit-Funktion ergibt. Diese sind als serienmäßig produzierte Software-Pakete erhältlich.

Eine derartige *BFBCE*-Funktion ist in Fig. 4B dargestellt. Ist die *BFBCE*-Funktion einmal festgelegt, kann sie nach dem Muster der oben beschriebenen Spline-Kreis-Umwandlungsroutine in eine Kreis-Segment-Funktion umgewandelt werden.

#### (1000) Schritt Best-fit-Anordnung des Unterkieferbogens

Nachdem die Best-fit-Funktion *BFBCE* statistisch abgeleitet ist, werden die (1000) Positionen der einzelnen Unterkieferzähne berechnet, so daß sie fazial, entweder labial oder lingual, bewegt werden können, damit ihre Spitzen in die Best-fit-Kurve fallen.

Um das zu erreichen, wird zunächst der mesiodistale Kontaktpunkt des ersten Unterkieerschneidezahns, der Punkt *MCP* in Fig. 7B, zunächst am Schnittpunkt der Mittellinie *ML* mit der *BFBCE* angeordnet, und zwar auf die gleiche Weise wie bei der Anordnung auf der *MO* in Schritt (900). Anschließend werden die oben definierten Kreise  $C_1$  und  $C_2$  für den Zahn konstruiert und ihre Schnittpunkte mit der *BFBCE*-Kurve ermittelt. Wie bei der Anordnung im obigen Schritt (800) ist der Schnittpunkt von  $C_1$  mit der *BFBCE*-Kurve der distale Kontaktpunkt *DCP* des Zahns, und der

Schnittpunkt von  $C_2$  mit der *BFBCE*-Kurve ist der Zahnmittelpunkt *TMP* (der nach *IC* ausgerichtet ist). Dadurch wird die Zahnsenkrechte zu dem Kreissegment der mit dem *TMP* verknüpften *BFBCE* bewegt. Anschließend werden neue Kreise  $C_1$  und  $C_2$  mit Mittelpunkten auf den distalen Mittelpunkten *DCP* konstruiert, und die Unterschritte werden wiederholt für alle Zähne auf derselben Seite und dann auf der gegenüberliegenden Seite des Unterkieferbogens.

Die Endpositionen der Unterkieferzähne sind in Fig. 7C dargestellt, in der die XY-Koordinaten denen der horizontalen Bogenebenen entsprechen. Eine vertikale Z-Koordinate, die lotrecht zur horizontalen XY-Ebene verläuft, wird nach den Y-Achsen der einzelnen Zahnprofilebenen ausgerichtet. Die X-Koordinaten der Profilebenen werden nach den labial-lingualen Richtungen *La-Li* in Fig. 7B ausgerichtet.

## (1100) Schritt Anordnung der Oberkieferzähne

Die Okklusionskonstruktion erfordert ein Angleichen der Oberkieferzähne an die bereits positionierten Unterkieferzähne. Das wird erreicht, indem eine modifizierte Best-fit-Bukkalhöcker-Funktion *BFBCE* für die Oberkieferzähne abgeleitet wird. Bei den Oberkieferzähnen sind die Höckerspitzen der hinteren Zähne und die Schneidkanten der Vorderzähne nicht in einem einzigen Bogen angeordnet, sondern eher folgendermaßen: (1) die Punkte zentrale Höckerfurche - Randleisten der maxillaren Prämolare und Molare auf der *BFBCE*-Kurve; (2) die Oberkiefervorderzähne weichen labial von der *BFBCE*-Kurve ab, damit ein Übergreifen der Schneidezähne sowie ein Zwischenraum zwischen ihren lingualen Flächen und den labialen Flächen der Unterkieferzähne ermöglicht wird; und (3) die Eckzahnspitzen liegen im Bogen, im allgemeinen zwischen dem ersten maxillaren Prämolar und dem zweiten Schneidezahn. Die Bögen, auf denen die Oberkieferzähne angeordnet sind, sind, wie oben erklärt, in Fig. 4C dargestellt.

Für die Oberkieferschneidezähne umfaßt die Modifizierung der *BFBCE*-Kurve zunächst ein Mitteln der Abstände von Punkt  $P_2$  zu Punkt  $P_3$  auf der Schneidkante der Unterkieferschneidezähne sowie eine Division durch zwei, um den Bogen so anzuordnen, daß die labiale Fläche des Zahns an den Schneidkantenmittelpunkt *ICP* des Zahns angrenzt, wobei es sich im allgemeinen um Punkt  $P_3$  handelt. Das ergibt einen gleichförmigen Abstand zwischen der Best-fit-Funktion und dem Kontaktpunkt der Fazialfläche auf der labialen Seite der Unterkiefervorderzähne mit dem Fazialpunkt auf der lingualen Seite der Oberkiefervorderzähne. Ein zusätzlicher Abstand, normalerweise 0,25 mm, wird zum gemittelten Abstand addiert, um einen geringfügigen *Zwischenraum* zwischen den oberen und unteren Vorderzähnen zu gewährleisten. Das wird in Fig. 7D dargestellt.

Das vordere Gebiß des Oberkiefers wird gegenüber der Okklusionsebene *MOC* in eine vertikale Position gebracht, und zwar in Übereinstimmung mit Okklusionskriterien, die ausgewählt wurden, um ein vorherbestimmtes Übergreifen zu gewährleisten. Vom Schritt Eckzahnanhebungsberechnung (700) sind die vertikalen Positionen der Oberkiefereckzähne in ihrer Relation zur mandibularen Okklusionsebene *NOC* bekannt. Bei den ersten und zweiten Schneidezähnen des Oberkiefers ermöglichen die vertikalen Positionen das Übergreifen entsprechend den vorgeschriebenen Kriterien, indem ihre lingualen fazialen Kontaktpunkte mit ihren Gegenstücken im Unterkiefer auf die *MOC*-Ebene gebracht werden. Alle Zähne sind gemäß den vorgeschriebenen Neigungswerten *LAI* der Kronenlängsachse *CLA* aus Schritt (600) geneigt.

Bei der (1100) Anordnung der Oberkieferzähne oder des Oberkiefers 24 in bezug auf die Zähne des Unterkiefers oder den Unterkiefer 22 werden die maxillare vordere Bogenform *MAAF*, die Bogenform der zentralen Höckerfurchen und Randleisten *CGMRAF* sowie die maxillare Eckzahnbogenform *MCAF* definiert.

Die Berechnung der Größe der zur Festlegung der *MAAF* erforderlichen Kreissegment-Radiusenerweiterung der *BFBCE*-Funktion wird durchgeführt am Mittelpunkt der mesiodistalen Breite beider erster Oberkieferschneidezähne, *TMP*, in Fig. 4C, der den Schnittpunkt mit der *BFBCE*-Kurve von Kreis  $C_2$  in Fig. 7C darstellt. Der Zahn wird so auf der maxillaren Kontaktbogenformfunktion *MAAF* angeordnet, daß der mesiale Kontaktpunkt des Zahns auf dem Schnittpunkt der Mittellinie *ML* und der maxillaren Kontaktbogenform *MAAF* liegt (Fig. 4C). In bezug auf die ersten und zweiten oberen Schneidezähne wird die *MAAF* folgendermaßen definiert:

$$MAAF = BFBCE + \sum \frac{P_{xy} - P_{yx}}{\{t\}\{Avg\}} + \text{Zwischenraum}$$

worin

$t$  = Anzahl der Zähne

$Avg = 2$  (für Mittelpunkt) ist.

Die *CGMRAF* stimmt mit der *BCBFE* gemäß Fig. 4B überein.

Bei den Oberkiefereckzähnen werden die Höckerspitzen auf einem stetigen Bogen zwischen *MAAF* und *CGMRAF* angeordnet. Vorzugsweise werden ihre Spitzen auf der *BFBCE* angeordnet, die erweitert wurde um den Durchschnitt der Abstände davon zur Schneidkantenspitze des zweiten Schneidezahns sowie zu den Bukkalhöckerspitzen der ersten Prämolare des Oberkiefers.

Die Informationen der Verordnung 27 des Kieferorthopäden 14 werden geladen, damit festgelegt werden kann, welches Verfahren zur vertikalen Okklusion der Oberkiefervorderzähne ausgewählt wurde, beispielsweise die Roth- oder Ricketts-Okklusion oder das bevorzugte Verfahren, bei dem sich die Oberkiefereckzähne um einen Strecke  $CR_{03}$  verlängern, die gleich 0,67 der Eckzahnanhebung  $CR$  unterhalb der Okklusionsebene *MOC* ist; die zweiten Schneidezähne um eine Strecke  $CR_{02}$  verlängern, die gleich 0,33 der Eckzahnanhebung  $CR$  unterhalb der Okklusionsebene *MOC* ist; und die ersten Schneidezähne um eine Strecke  $CR_{01}$  verlängern, die gleich 0,5 der Eckzahnanhebung  $CR$  unterhalb der Okklusionsebene *MOC* ist.



Vorzugsweise wird die horizontale Zahnanordnung mit einer Berechnung der Positionen der Zähne fortgesetzt, um die horizontale Okklusion zu gewährleisten, und zwar indem ein Abstand zwischen *LIMOC* und *ICP* für die ersten und zweiten Schneidezähne des Oberkiefers berechnet wird. Dieser Abstand wird als das maxillare vordere Offset *MAO* bezeichnet:

$$ICP = \frac{X_2 + X_3}{2}, \frac{Y_2 + Y_3}{2}$$

$$MAO = LIMOC_x - ICP_{x1}$$

Das Offset des ersten Oberkieferprämolars *MBO* wird berechnet als

$$MBO = P_{5x} - P_{3x1}$$

### Apparatkonstruktionsprozedur (96)

Die Apparatkonstruktionsprozedur umfaßt die Schritte (1200) Bestimmung der Lage der mandibularen Bogendrahtebene im Verhältnis zu den berechneten Endpositionen der Unterkieferzähne, (1300) Berechnung eines jeden mandibularen Bracketschlitzes im Verhältnis zur Anbringungsfläche des entsprechenden Zahns, (1400) Bestimmung der Lage der maxillaren Bogendrahtebene im Verhältnis zu den berechneten Endpositionen der Oberkieferzähne, (1500) Berechnung eines jeden maxillaren Bracketschlitzes im Verhältnis zur Anbringungsfläche des entsprechenden Zahns, (1600) Berechnung der Gestalt des mandibularen Bogendrahts sowie der inneren und äußeren Abmessungen der Schlitzes eines jeden mandibularen Brackets; (1700) Berechnung der Gestalt des maxillaren Bogendrahts sowie der inneren und äußeren Abmessungen der Schlitzes eines jeden maxillaren Brackets und (1800) Berechnung der Konturen der Bracketeinsetzhalter für jeden Zahn.

#### (1200) Schritt mandibulare Bogendrahtebene

Der folgende Schritt besteht in der (1200) Festlegung der Position der Bogendrahtebene für die Unterkieferzähne. Die Bogendrahtebene kann sich in einer infiniten Anzahl von vertikalen Positionen befinden, da die Brackets und der Bogendraht so konstruiert werden, daß sie zu jeder gewählten Lage passen. Da das Übergreifen der Oberkieferzähne bekannt ist, wird für die Anbringung des labialen Brackets die mandibulare Bogendrahtebene festgelegt, um einen Bracketzwischenraum für die Oberkieferzähne bei der Endokklusion zu ermöglichen. Bei der Anbringung lingualer Brackets wird diese Überlegung in bezug auf die maxillare Bogendrahtebene angestellt, wie nachfolgend in Schritt (1300).

Da die Oberkieferzähne kein Problem der Bracketbehinderung für die labiale Bracketanbringung darstellen, können diese Brackets unter dem Gesichtspunkt des einfachen Einsetzens, aufgrund kosmetischer Erwägungen und im Hinblick auf die Gingivagesundheit positioniert werden. Dies trifft für die mandibulare Bracketpositionierung zu, wenn eine linguale Bracketanbringung vorgenommen wird. Normalerweise liegen die Brackets zentraler als die Brackets des anderen Bogens.

Genauer gesagt, werden für die Festlegung der Bogendrahtebene die ausgewählte vertikale

Okklusion und das entsprechende vertikale Übergreifen von der *MOC* für Eckzähne, erste und zweite Schneidezähne abgerufen. Anschließend wird die Bukkalhöckerhöhe *BCH* für jeden Prämolare und Molare abgerufen. Als nächstes wird die maximale *BCH* oder das vordere vertikale Übergreifen als maximales vertikales Übergreifen *MVO* ausgewählt. Dann wird ein Abstand, der gleich dem *MVO* ist, von der *MCO* nach unten abgemessen. Abschließend wird die Hälfte der Brackethöhe (normalerweise 3,0 mm) plus zusätzliche 0,75 mm für den Okklusionszwischenraum addiert. Dadurch wird die mandibulare Bogendrahtebene *MAWP* definiert. Somit werden die Brackets bei möglichst vollständiger Okklusion angeordnet, wobei ein Zwischenraum von 0,75 mm gegenüber dem ungünstigsten Fall der maxillaren Okklusion gegeben ist.

### (1300) Schritt mandibulare Schlitzneigung

Nachdem die Bogendrahtebenen in bezug auf die Zähne definiert sind, wird der (1300) Winkel zwischen der Apparatanbringungsfläche der Zähne und der Bogendrahtebene festgelegt. Dieser Winkel minus 90° stellt das faciale Drehmoment oder den Neigungswinkel dar, der in die Brackets hineingearbeitet werden muß. Dadurch wird auch die Höhe der Bracket Schlitzanordnung definiert, die dem Abstand von der Spitze der Schneidkante zur Bogendrahtebene entspricht. Dieser Abstand wird lotrecht zur Bogendrahtebene berechnet.

Bracketkörper ohne Schlitz wurden jetzt annähernd positioniert. Dann wird ein glatter Bogendraht so konstruiert, daß er durch die Körper der Brackets hindurchpaßt. Der Bogendraht darf nicht zu tief in das Bracket einschneiden oder nicht einmal geringfügig an der Vorderfläche des Brackets vorstehen. Je nach Erfordernis werden Brackets mit unterschiedlicher Höhe gewählt. Ohne Modifizierung von Bukkalhülsenfertigungseinheiten können Standard-Bracketabstände von der Zahnoberfläche zum Zentrum des Schlitzes als Ausgangswerte eingesetzt werden. Anschließend wird die Bogendraht-Funktion mathematisch aus dem oben beschriebenen kubischen Spline-Verfahren oder dem Tangentialkreis-Verfahren abgeleitet. Beide Bogendrähte werden in ähnlicher Weise entwickelt.

Insbesondere wird die Bracketwinkelfestlegung (1300) erzielt, indem der Schnittpunkt der *MAWP* mit der labialen (bukkalen) Fläche eines jeden Unterkieferzahns im Fall von labialen Apparaten, und der Schnittpunkt der *MAWP* mit der lingualen Fläche eines jeden Zahns im Falle von lingualen Apparaten verwendet wird. Anschließend werden Kreise mit Mittelpunkten an den Schnittpunkten und mit Durchmessern konstruiert, die die okkluso-gingivalen (vertikalen) Abmessungen der Bracketklebeflächen (normalerweise 3,0 mm) repräsentieren. Die XY-Koordinaten der Kreisschnittpunkte mit der labialen (bukkalen) Zahnfläche werden in folgende Gleichungen eingesetzt:

$$R^2 = (X_1 - h)^2 + (Y_1 - K)^2$$

$$Y_2 = mX_2 + b_2$$

$$Y_3 = mX_3 + b_3$$

Die Anstiege zwischen den Schnittpunkten werden berechnet, so daß sich der faziale Neigungswinkel *FIA* ergibt.

$h, k$  = Koordinaten des Kreismittelpunkts

$X_2, Y_2, b_2$  = Definition des ersten Liniensegments

$X_3, Y_3, b_3$  = Definition des zweiten Liniensegments

Dann werden, wie in Fig. 8A für labiale Apparate dargestellt,  $x/2$ -Radianten subtrahiert, so daß sich der Schlitzneigungswinkel *SIA* ergibt:

$$FIA = \frac{Y_2 - Y_3}{X_2 - X_3}$$

$$SIA = FIA - x/2$$

## (1400) Schritt maxillare Bogendrahtebene

Der nächste Schritt besteht darin, die (1400) maxillare Bogendrahtebene zu lokalisieren, wie es im Schema von Fig. 8 dargestellt ist. Bei den ersten Schneidezähne des Oberkiefers umfaßt dies das Ermitteln des vertikalen Abstands zwischen der Schneidkante und Punkt  $P_4$ . Der kleinste Wert wird gewählt und durch zwei dividiert, so daß sich die Schlitzanordnungshöhe für die ersten Oberkieferschneidezähne ergibt. Bei den terminalen Prämolaren des Oberkiefers wird der vertikale Abstand zwischen dem Bukkalhöcker und Punkt  $P_4$  ermittelt. Der kleinste Wert wird ausgewählt und durch zwei dividiert. Das ergibt die Schlitzanordnungshöhe *SPH* für die terminalen maxillaren Prämolare.

Für die ersten Schneidezähne des Oberkiefers wird der Y-Wert des *FIMOC* vom Y-Wert für die Schlitzanordnungshöhe *SPH* subtrahiert. Dabei handelt es sich um den Abstand zwischen der *MOC* und der Schlitzmittellinie. Dann wird der Y-Wert von *MOC* vom Y-Wert für die Schlitzanordnungshöhe *SPH* für die terminalen Prämolare subtrahiert. Dies ist der Abstand zwischen *MOC* und Schlitzmittellinie. Dann wird die *SPH* für den terminalen Prämolaren von der *SPH* der ersten Oberkiefer-Schneidezähne subtrahiert(?). Dies ist die Anstiegsänderung *DH* des maxillaren Bogendrahts gegenüber *MOC* von den ersten Schneidezähnen bis zu den terminalen Prämolaren des Oberkiefers. Der Anstieg des maxillaren Bogendrahts *MXAWP* von der *MOC* oder Bogendrahthöhe *AHT* an jedem Zahn wird wie folgt berechnet:

$$AHT = K + DH + SPH - MOC_y + \text{vertikaler Übergriff}$$

worin *K* der Umwandlungsfaktor in Tabelle 2 ist.

Zahntyp	keine Extraktion	Extraktion (z.B. 2. Prämolare)
1. Schneidezahn des Oberkiefers	0,0	0,0
2. Schneidezahn des Oberkiefers	- 0,19	- 0,28
Eckzahn des Oberkiefers	- 0,42	- 0,62
1. Prämolare des Oberkiefers	- 0,68	- 1,00
2. Prämolare des Oberkiefers	- 1,00	-
1. Molare des Oberkiefers	- 1,32	- 1,46

TABELLE 2

(1500) Schritt maxillare Schlitzneigung

Nachdem die Bogendrahtebene festgelegt ist, wird der (1500) Schlitzneigungswinkel  $SAI$  für jedes der maxillaren Zahnbrackets festgelegt, und zwar in ähnlicher Weise wie beim Schritt Schlitzneigungsfestlegung für die Unterkieferbrackets (1300), indem zunächst der Schnittpunkt der maxillaren Bogendrahtebene  $MXAWP$  mit der labialen oder bukkalen Fläche jedes Oberkieferzahns ermittelt wird. Anschließend werden für jeden Oberkieferzahn Kreise beschrieben, deren Mittelpunkt mit dem Schnittpunkt zusammenfällt und deren Durchmesser gleich der okkluso-gingivalen oder vertikalen Abmessung der Bracketklebefläche ist, die normalerweise 4,0 mm beträgt. Aus diesen Kreisen werden die XY-Koordinaten der Schnittpunkte der Kreise mit der labialen oder bukkalen Zahnfläche wie folgt ermittelt:

$$R^2 = (X_1 - h)^2 + (Y_1 - k)^2;$$

$$Y_2 = mX_2 + b_2;$$

$$Y_3 = mX_3 + b_3.$$

Gemäß Fig. 8A werden nun die  $x/2$ -Radianten subtrahiert, so daß sich der Schlitzneigungswinkel  $SIA$  ergibt:

$$FIA = \frac{Y_2 - Y_3}{X_2 - X_3}$$

$$SIA = FIA - x/2$$

(1600) Schritt Unterkieferbogendraht und Schlitztiefe

Der nächste Schritt besteht darin, den (1600) mandibularen Bogendraht sowie die innere und äußere Abmessung des Brackets festzulegen. Zunächst wird das Kreissegment der *BFBCE*, der dem *ICP* des ersten rechten Schneidezahns zugeordnet ist, ermittelt, wie in Fig. 8B dargestellt ist. Dann werden der Schneidkantenmittelpunkt und die Kreissegment-Mittelpunktsebene *ICPCDCPP* lotrecht zu den Bogenebenen erzeugt. Eine Schneidkantenmittelpunktlinie *ICPL* wird gezogen, die durch den *ICP* sowie einen dem Zahn zugeordneten besonderen Kreissegmentmittelpunkt *CSCP* verläuft. Nun wird ein pythagoreischer Abstand *PD* zwischen *CSCP* und *ICP* ermittelt. Anschließend wird der Abstand zwischen *CSCP* und *ICP* entsprechend dem Satz von Pythagoras bestimmt. Dann wird hinsichtlich des Zahns in der *ICPCSCPP*, wie in Fig. 8C dargestellt, eine Linie *NL* lotrecht zur *BFBCE* durch den *ICP* gezogen, der den Schnittpunkt von *CLA* und *BFBCE* darstellt. Noch immer mit Blick auf den Zahn in dieser Ebene wird als nächstes der Schnittpunkt *XP* von *NL* und *MAWP* bestimmt.

Weiterhin mit Blick auf den Zahn in der *ICPCSCPP* wird der X-Abstand *XD* zwischen der labialen Zahnfläche und *XP* bestimmt, und *PD* wird zu *XD* und dem unteren Grenzwert des Bracketschlitzes *LLBS* addiert. Der *LLBS* ist ein Abstand, der dem bestimmten Bracket zugeordnet ist, das an diesem Zahn eingesetzt wird. Es handelt sich um den tiefsten Schlitz, der für dieses Bracket zulässig ist. Dann wird der untere Grenzwert *LL* wie folgt berechnet:

$$LL = PD + XD + LLBS$$

In ähnlicher Weise wird *PD* zum *XD* und oberen Grenzwert des Bracketschlitzes *ULBS* addiert. Der *ULBS* stellt ebenfalls einen Abstand dar, der dem bestimmten Bracket zugeordnet ist, das an diesem Zahn eingesetzt wird. Es handelt sich um den flachsten Schlitz, der für dieses Bracket zulässig ist. Dann wird der obere Grenzwert wie folgt berechnet:

$$UL = PD + XD + ULBS$$

Dann wird bei Betrachtung der mandibularen Okklusion in einer Draufsicht und beim Bewegen entlang der *ICPL* von *CSCP* um den *LL*-Abstand werden die Punkte X und Y, *AWLL<sub>xy</sub>*, im Verhältnis zu einem Nullpunkt am Schnittpunkt der *BFBCE* und der mandibularen Mittellinie *ML* bestimmt. Dann wird bei Betrachtung der mandibularen Okklusion in einer Draufsicht und beim Bewegen vom *CSCP* entlang der *ICPL* um den *UL*-Abstand werden die Punkte X und Y, *AWUL<sub>xy</sub>*, im Verhältnis zum Schnittpunkt der *BFBCE* und der mandibularen Mittellinie *ML* bestimmt. Anschließend wird der Mittelpunkt von *AWLL<sub>xy</sub>* und *AWUL<sub>xy</sub>* ermittelt und die Schritte für alle Unterkieferzähne wiederholt.

Dann werden der durchschnittliche Mittelpunkt und der Abstand von rechts nach links berechnet, um eine mandibulare Bogendrahtsymmetrie zu erzwingen:

$$S_x = MP_x + \frac{PR_x - PL_x}{2}$$

$$S_y = MP_y + \frac{PR_y + PL_y}{2}$$

Die glatteste Kurve  $SC$ , die zwischen allen Punkten  $AWLL_{xy}$  und  $AWUL_{xy}$  hindurchläuft, wird bestimmt, wie in Fig. 4E dargestellt. Vorzugsweise hat sie keine Abbiegepunkte. Sind ein oder mehrere Abbiegepunkte vorhanden, wird die logische Alternativlösung für das Bracket anhand der Stelle abgeleitet, an der die Abbiegung auftritt.

(1700) Schritt maxillarer Bogendraht und Schlitztiefe

Der nächste Schritt besteht darin, den (1700) maxillaren Bogendraht sowie die innere und äußere Abmessung des Brackets festzulegen. Wie bei dem Schritt der mandibularen Festlegung (1600) wird das Kreissegment der  $BFBCE$ , dem der  $ICP$  des rechten ersten Schneidezahns zugeordnet ist, bestimmt. Der Schritt ähnelt dem der Berechnung in Fig. 4E und 8C für die inneren und äußeren Abmessungen der mandibularen Bracketschlitz, außer daß die maxillaren ersten und zweiten Schneidezähne eher der  $MAAF$  und nicht der  $BFBCE$  zugeordnet sind, die maxillaren Eckzähne sind der  $MCAF$  zugeordnet und die Zähne nach dem Eckzahn der  $BFBCE$ .

Das Fräsen der Bracketschlitz wird bei der Diskussion von Schritt (3000) beschrieben.

(1800) Schritt Einsetzhalterkonstruktion

Informationen für die Konstruktion der Bracketeinsetzhalter, die dem Kieferorthopäden helfen, die Brackets an den richtigen Positionen auf den einzelnen Zähnen anzubringen, sind jetzt erhältlich. Die Konstruktion der Einsetzhalter erfolgt mit der Software, die zum unten beschriebenen Schritt Halterkonstruktion (3500) gehört, nach dem Laden ... (im Original nicht lesbar) ... der erforderlichen Daten aus den oben beschriebenen Berechnungen in den Fertigungs-Steuercomputer 30c.

(97) Prozedur der Apparatfertigung

Die Prozedur der Apparatfertigung (97) umfaßt die Schritte (3000) Fertigung der individuellen Brackets, (3200) Fertigung der individuellen Bogendrahte und (3500) Fertigung der individuellen Einsetzhalter für die Anbringung der individuellen Brackets an den Zähnen des Patienten. Diese Schritte werden nachfolgend ausführlich beschrieben für die Ausführung, bei der die gesamte Fertigung in der Apparatkonstruktions- und -fertigungsstätte 13 durchgeführt wird.

(3000) Schritt Bracketfertigung

Der Schritt Bracketfertigung (3000) erzeugt die individuellen Brackets, vorzugsweise, indem die Bracketrohlinge ausgewählt werden und einen zum Drehen bestimmten Schlitz für den Bogendraht 64 in das Bracket gefräst wird.

Der Computer 30c lädt die Daten jedes einzelne Bracket aus der Patientendatei 36.

Bei jedem Zahn und Bracket werden, als Standard oder als Anfangsauswahl, Brackets mit niedrigem Profil vorausgesetzt. Dann werden der Schlitzwinkel  $FAI$  und die inneren und äußeren Abmessungen des Schlitzes  $IO$  gelesen. Außerdem wird der Radius des Bogendrahts am Zahnmittelpunkt bestimmt.

Anschließend werden ein Haupt-CNC-Programm und die Programmschleifen zur Erzeugung des Codes für das Fräsen jedes Brackets erstellt, angefangen mit der Berechnung der Variablen für das Bracket, der Zuordnung der Variablen für jedes Bracket, so daß das Fräsen des Schlitzes im richtigen Winkel durch Drehen der Spannvorrichtung 73 und Einstellen des Fräasers 77c so festgelegt wird, daß eine vertikale Z- und eine horizontale X-Position zusammenwirken. Wenn die Position des Schlitzes außerhalb des Bracketbereichs liegt, wird ein Bracket mit dem geeigneten höheren Profil

vom Programm angefordert und geladen, entweder automatisch oder von einem Operator. Dann wird der Code erzeugt, um den Weg des Fräasers in der Y-Richtung zu steuern, so daß der Bogendrahtradius in den Schlitzboden gefräst wird.

Der CNC-Code wird vorzugsweise in eine NC-Steuereinheit heruntergeladen, und die Brackets werden bearbeitet, indem die Schlitzbohrungen in eine Reihe von Bracketbohrungen gefräst werden, und ein (3080) Bericht wird angefertigt.

## (3200) Schritt Bogendrahtfertigung

Der Schritt Bogendrahtfertigung (3200) erzeugt den Bogendraht 64, der um die Bogendrahtmittellinie *AML* symmetrisch ist und über die geeignete Endschenkelspannweite *TLS* verfügt, die von einer Reihe von Kreissegmenten gebildet wird.

Der Fertigungssteuercomputer 30c erzeugt einen CNC-Code zur Steuerung der Bogendrahtformvorrichtung 40. Das Programm beginnt damit, daß Dateien aus den berechneten Patientendaten 36 geöffnet und die Drahtlegierung sowie der verordnete Drahtquerschnitt gelesen werden, und es umfaßt ein Datenfeld, darin auch eine Reihe von Datensätzen über den Radius und die Sektorlänge aller Kreissegmente, aus denen die Bogendrahtkurve gebildet wird, sowie die berechnete kumulative Gesamtbogendrahtlänge. Zur Bogendrahtfunktion werden Radii und Sektorlängen addiert, so daß 12,5 mm eines geraden Segments an jedem Ende des Drahts erzeugt werden, damit parallele Endschenkelverlängerungen gebildet werden. Dann wird durch Berechnen der kumulativen Anstiege und Sektorlängen des Draht entlang der Funktion die Endschenkelspannweite *TLS* berechnet.

Die Anstiege der Drahtfunktion, die das Drahtverhalten beschreiben, werden berechnet durch: (1) Berechnen der Parabelkoeffizienten, (2) Eintragen des ersten Punktes eines Anstiegssystems, (3) Eintragen der mittleren Punkte eines Anstiegssystems, und (4) Eintragen des letzten Punktes eines Anstiegssystems. Anschließend wird die vertikale Auslenkung des Biegehebels *LA* zwischen den Kontaktpunkten der Walze 70b mit dem Draht 69 und den Kontaktpunkten der Walzen 68 mit dem Draht 69 für jedes Kreissegment der Bogendrahtfunktion festgelegt und die Daten dem System zugeführt.

Anschließend werden vorläufige Variablen für Sektorlänge, Hebelarmauslenkung, Radius und Endschenkelspannweite entlang der geraden Segmente des Bogendrahts definiert, die Steuerungskarte 65 des Computers 30c wird initialisiert, die Basisadresse der Steuereinheit sowie die Standardparameter werden festgelegt. Dann werden die Sequenzen der Sektorlängen und Hebelarmauslenkungen (1) über die Schaltungen 66a und 67a an den Antrieb der Zuführungswalzen 68 und (2) durch die Schaltungen 66a und 67a an die Amboßeinheit 70 übertragen.

Anschließend wird die Hebelarmauslenkung auf Null gebracht und die Drahtschenkelweite wird von dem Sensor 71 bestimmt. Dieser Wert wird im Computer 30b in einen numerischen Wert umgewandelt, und jeder Unterschied zwischen der aktuell gemessenen Endschenkelspannweite und der gewünschten Endschenkelspannweite *TLS* wird berechnet. Liegt der Unterschied außerhalb der zulässigen Abweichung, wird eine Korrektur vorgenommen und ein anderer Draht geformt.

## (3500) Schritt Halterfertigung

Der Schritt Halterfertigung (3500) erzeugt Bracketeinsetzhalter, die individuell für jeden Zahn konstruiert werden, um das Anbringen der individuell konstruierten Brackets in den richtigen Positionen am Zahn zu erleichtern, damit der individuell konstruierte Bogendraht, wenn er in die individuell konstruierten und individuell angebrachten Brackets eingesetzt wird, die Zähne in ihre berechneten Endpositionen bewegt.

Die für die Konstruktion der individuellen Einsetzhalter erforderlichen Informationen sind bei der dargestellten erfindungsgemäßen Ausführung in der Patientendatei enthalten, aus den in der Prozedur Apparatkonstruktion (96) gemachten Berechnungen ersichtlich sowie in der Zahnprofildatei digitalisierter Informationen, die im Schritt (500) eingegeben wurden, befindlich. Die Konstruktion der individuellen Halter umfaßt in erster Linie eine Zusammenstellung bereits vorhandener Informationen und erfolgt bei der bevorzugten Ausführung im Verlauf der Erstellung des Steuer codes für die NC-gesteuerte Fertigungsausrüstung 41, die die Halter herstellt.

Bei der bevorzugten und dargestellten Ausführung handelt es sich bei der Halterfertigungsausrüstung 41 um eine Standard-CNC-Fräse, die mit einem kleinen Hartmetallfräser von beispielsweise 0,5 mm (0,020 Zoll) Durchmesser ausgestattet ist (Fig. 1F). Die Halter 82 selbst werden aus runden ABS-Kunststoffscheiben 83 hergestellt, deren Durchmesser etwa 2,5 cm (1 Zoll) und deren Dicke etwa 1,0 mm (0,040 Zoll) beträgt, obwohl beträchtliche Abweichungen in der Größe annehmbar sind.

Der Schritt Halterfertigung (3500) beginnt mit der Ausführung eines Programms bzw. einer Routine im Fertigungscomputer 30b und der Eingabe von Parametern, die den Patienten oder den Fall identifizieren. Nach dem Start des Programms wird die Patientendatei 36 geöffnet, die in der Prozedur der Zahnpositionsberechnung und Analyse (95) sowie in der Prozedur der Apparatkonstruktion (96) erstellt wurde, und die Informationen für jeden Zahn werden in Relation zu einem Zahnprofil *PF* entnommen, wie im Schema von Fig. 9I dargestellt ist. Bei den entnommenen Variablen handelt es sich um (a) den Schnittpunkt der Bogendrahtebene mit der labialen (oder lingualen, falls verordnet) Zahnfläche *TS* in der vertikal-labialen/lingualen Zahnprofilebene, und zwar in Form eines XY-Koordinatenpaares  $TS_{xy}$ , (b) die inneren und äußeren Schlitzabmessungen *Elan* oder *IO*, (c) den Typ des Brackets, wodurch Zugang zur richtigen Stelle in einer Verweistabelle von Bracketabmessungen möglich ist, wie beispielsweise Bracketbasisdicke *BReI* und Bracketklebschichthöhe *BPH*, sowie (d) die Breite des zum Drehen bestimmten Schlitzes, 0,45 oder 0,55 mm, je nach Verordnung.

Dann wird die Bracketdatei geöffnet und die Bracketbasisdicke abgelesen, wie in Fig. 9J dargestellt ist.

Eine CAD-Programmdatei, die die Zahnprofile *PF*, enthält, wird geladen. Die Profile *PF* bestehen, wie in Fig. 3C dargestellt, aus eine Reihe von dicht beieinander liegenden Punkten in der Profilebene, von denen jeder durch XY-Koordinaten repräsentiert wird, wobei die Punkte durch Geradensegmente verbunden werden, um die Profilkurve *PF* zu definieren. Der Fräserdurchmesser *Endmill* wird ebenfalls eingegeben, der kleiner als der Bogendrahtdurchmesser oder die Bogendrahtschlitzbreite sein muß (0,45 oder 0,55 mm). Konstanten werden festgelegt, darunter der Durchmesser des Halterrohrlings 83, der Fräsabstand an der Außenseite des Halters, die Anzahl der



Geradensegmente verbunden werden, um die Profilkurve *PF* zu definieren. Der Fräserdurchmesser *Endmill* wird ebenfalls eingegeben, der kleiner als der Bogendrahtdurchmesser oder die Bogendrahtschlitzbreite sein muß (0,45 oder 0,55 mm). Konstanten werden festgelegt, darunter der Durchmesser des Halterrohrlings 83, der Fräsabstand an der Außenseite des Halters, die Anzahl der Schleifen, bei 23 festgelegt, und die Zählerausgangseinstellungen.

Anschließend folgt der Erstellung des Profil- und Bracket-Spielkompensations-Fräserwegs *ITP* bzw. *BCTP*. Dazu gehören die Erstellung einer anfänglichen inneren Fräserweglinie *IITP*, die aus einer Reihe von Geradensegmenten besteht, wobei eines jeweils parallel zu einem Liniensegment der Zahnprofilkurve verläuft, und zwar mit einem Abstand, der dem Fräserradius an der Innenseite der Profilkurve entspricht, wie in Fig. 9K, die Erstellung einer anfänglichen Bracketbasis-Kompensations-Fräserweglinie *IBCTP*, die aus einer Reihe von Geradensegmenten besteht, wobei eines jeweils parallel zu einem Liniensegment der Zahnprofilkurve verläuft, und zwar mit einem Abstand, der der Bracketbasisabmessung minus dem Fräserradius außerhalb der Profilkurve entspricht, und (3600) die Erstellung eines abschließenden Bracketbasis-Kompensations-Fräserwegs (*d*), um von der inneren Fräserweglinie zur Basiskompensationslinie am oberen Ende der Bracketbasisklebschicht zu fräsen, so daß der Halter am unteren Ende der Schicht abgetrennt wird, wie in Fig. 9M ("oberes Ende" und "unteres Ende" dienen hier in einem Beispiel für die unteren Zähne und werden für die oberen Zähne umgekehrt).

Als nächstes wird ein Bogendrahtschlitz-Fräserweg *ASTP* erstellt, der aus der Sequenz der Schemata der Fig. 9N, 9O und 9P verständlich wird. Anschließend wird ein Referenz-Fräserweg *RefP* erstellt, und zwar auf einem Bild eines Halterrohrlings 83, wie in Fig. 9Q dargestellt, und unter Bezugnahme darauf wird die äußere Haltergrenzenaussparung *CTP* hinzugefügt, wie in Fig. 2R, und dann wird der (3620) tatsächliche Fräserweg *TP* erstellt, wie in Fig. 9S dargestellt.

Anschließend wird der (3625) CNC-Maschinencode erzeugt, der in dem ausführlichen Flußschema der Fig. 2Z-6 dargestellt und in der Ausgabedatei niedergeschrieben ist. Dann werden (3630) die Variablen zurückgesetzt, (3635) die Endergebnisse am Monitor ausgegeben, und (3640) das Programm springt zurück auf Unterschrift (3560), bis der gesamte Brackethalter-Code errechnet ist. Dann wird (3645) die vervollständigte CNC-Datei an die Steuereinheit der CNC-Fräse übertragen, und ein Stapel von Scheiben 83a (Fig. 1F) zu einem Satz Bracketeinsatzhalter 82 gefräst. Ein Beispiel für einen der Halter ist in Fig. 9T bis 9W veranschaulicht.

B 31.03.00

Geradensegmente verbunden werden, um die Profilkurve *PF* zu definieren. Der Fräserdurchmesser *Endmill* wird ebenfalls eingegeben, der kleiner als der Bogendrahtdurchmesser oder die Bogendrahtschlitzbreite sein muß (0,45 oder 0,55 mm). Konstanten werden festgelegt, darunter der Durchmesser des Halterrohrlings 83, der Fräsabstand an der Außenseite des Halters, die Anzahl der Schleifen, bei 23 festgelegt, und die Zählerausgangseinstellungen.

Anschließend folgt der Erstellung des Profil- und Bracket-Spielkompensations-Fräserwegs *ITP* bzw. *BCTP*. Dazu gehören die Erstellung einer anfänglichen inneren Fräserweglinie *IITP*, die aus einer Reihe von Geradensegmenten besteht, wobei eines jeweils parallel zu einem Liniensegment der Zahnprofilkurve verläuft, und zwar mit einem Abstand, der dem Fräserradius an der Innenseite der Profilkurve entspricht, wie in Fig. 9K, die Erstellung einer anfänglichen Bracketbasis-Kompensations-Fräserweglinie *IBCTP*, die aus einer Reihe von Geradensegmenten besteht, wobei eines jeweils parallel zu einem Liniensegment der Zahnprofilkurve verläuft, und zwar mit einem Abstand, der der Bracketbasisabmessung minus dem Fräserradius außerhalb der Profilkurve entspricht, und (3600) die Erstellung eines abschließenden Bracketbasis-Kompensations-Fräserwegs (*d*), um von der inneren Fräserweglinie zur Basiskompensationslinie am oberen Ende der Bracketbasisklebschicht zu fräsen, so daß der Halter am unteren Ende der Schicht abgetrennt wird, wie in Fig. 9M ("oberes Ende" und "unteres Ende" dienen hier in einem Beispiel für die unteren Zähne und werden für die oberen Zähne umgekehrt).

Als nächstes wird ein Bogendrahtschlitz-Fräserweg *ASTP* erstellt, der aus der Sequenz der Schemata der Fig. 9N, 9O und 9P verständlich wird. Anschließend wird ein Referenz-Fräserweg *RefP* erstellt, und zwar auf einem Bild eines Halterrohrlings 83, wie in Fig. 9Q dargestellt, und unter Bezugnahme darauf wird die äußere Haltergrenzenaussparung *CTP* hinzugefügt, wie in Fig. 2R, und dann wird der (3620) tatsächliche Fräserweg *TP* erstellt, wie in Fig. 9S dargestellt.

Anschließend wird der (3625) CNC-Maschinencode erzeugt, der in dem ausführlichen Flußschema der Fig. 2Z-6 dargestellt und in der Ausgabedatei niedergeschrieben ist. Dann werden (3630) die Variablen zurückgesetzt, (3635) die Endergebnisse am Monitor ausgegeben, und (3640) das Programm springt zurück auf Unterschrift (3560), bis der gesamte Brackethalter-Code errechnet ist. Dann wird (3645) die vervollständigte CNC-Datei an die Steuereinheit der CNC-Fräse übertragen, und ein Stapel von Scheiben 83a (Fig. 1F) zu einem Satz Bracketeinsetzhalter 82 gefräst. Ein Beispiel für einen der Halter ist in Fig. 9T bis 9W veranschaulicht.

Geradensegmente verbunden werden, um die Profilkurve *PF* zu definieren. Der Fräserdurchmesser *Endmill* wird ebenfalls eingegeben, der kleiner als der Bogendrahtdurchmesser oder die Bogendrahtschlitzbreite sein muß (0,45 oder 0,55 mm). Konstanten werden festgelegt, darunter der Durchmesser des Halterrohrlings 83, der Fräsabstand an der Außenseite des Halters, die Anzahl der Schleifen, bei 23 festgelegt, und die Zählerausgangseinstellungen.

Anschließend folgt der Erstellung des Profil- und Bracket-Spielkompensations-Fräserwegs *ITP* bzw. *BCTP*. Dazu gehören die Erstellung einer anfänglichen inneren Fräserweglinie *IITP*, die aus einer Reihe von Geradensegmenten besteht, wobei eines jeweils parallel zu einem Liniensegment der Zahnprofilkurve verläuft, und zwar mit einem Abstand, der dem Fräserradius an der Innenseite der Profilkurve entspricht, wie in Fig. 9K, die Erstellung einer anfänglichen Bracketbasis-Kompensations-Fräserweglinie *IBCTP*, die aus einer Reihe von Geradensegmenten besteht, wobei eines jeweils parallel zu einem Liniensegment der Zahnprofilkurve verläuft, und zwar mit einem Abstand, der der Bracketbasisabmessung minus dem Fräserradius außerhalb der Profilkurve entspricht, und (3600) die Erstellung eines abschließenden Bracketbasis-Kompensations-Fräserwegs (*d*), um von der inneren Fräserweglinie zur Basiskompensationslinie am oberen Ende der Bracketbasisklebschicht zu fräsen, so daß der Halter am unteren Ende der Schicht abgetrennt wird, wie in Fig. 9M ("oberes Ende" und "unteres Ende" dienen hier in einem Beispiel für die unteren Zähne und werden für die oberen Zähne umgekehrt).

Als nächstes wird ein Bogendrahtschlitz-Fräserweg *ASTP* erstellt, der aus der Sequenz der Schemata der Fig. 9N, 9O und 9P verständlich wird. Anschließend wird ein Referenz-Fräserweg *RefP* erstellt, und zwar auf einem Bild eines Halterrohrlings 83, wie in Fig. 9Q dargestellt, und unter Bezugnahme darauf wird die äußere Haltergrenzaussparung *CTP* hinzugefügt, wie in Fig. 2R, und dann wird der (3620) tatsächliche Fräserweg *TP* erstellt, wie in Fig. 9S dargestellt.

Anschließend wird der (3625) CNC-Maschinencode erzeugt, der in dem ausführlichen Flußschema der Fig. 2Z-6 dargestellt und in der Ausgabedatei niedergeschrieben ist. Dann werden (3630) die Variablen zurückgesetzt, (3635) die Endergebnisse am Monitor ausgegeben, und (3640) das Programm springt zurück auf Unterschnitt (3560), bis der gesamte Brackethalter-Code errechnet ist. Dann wird (3645) die vervollständigte CNC-Datei an die Steuereinheit der CNC-Fräse übertragen, und ein Stapel von Scheiben 83a (Fig. 1F) zu einem Satz Bracketeinsetzhalter 82 gefräst. Ein Beispiel für einen der Halter ist in Fig. 9T bis 9W veranschaulicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines individuellen kieferorthopädischen Apparats für die Bewegung der Zähne eines Patienten in gewünschte Endpositionen im Mund des Patienten, das folgende Schritte umfaßt: Vermessen der anatomischen Formen im Mund des Patienten und darauf aufbauend Gewinnen digitalisierter Daten zu den anatomischen Formen, einschließlich der die Formen der einzelnen Zähne des Patienten darstellenden dreidimensionalen Zahnformdaten; Ableiten einer idealen Zahnbogenform durch Verarbeiten der digitalisierten Daten zu den anatomischen Formen mit Hilfe eines Computers, der für die Erstellung eines zumindest teilweise von den digitalisierten Daten zu den anatomischen Formen abhängigen digitalisierten mathematischen Bogenform-Modells programmiert ist; Ableiten der Zahnendpositionen aus den digitalisierten Daten zu den anatomischen Formen sowie des digitalisierten mathematischen Bogenform-Modells mit Hilfe des Computers zur mesiodistalen Anordnung der Zähne auf dem abgeleiteten idealen Zahnbogen und zur Bewegung der Zähne in bezug auf den abgeleiteten idealen Zahnbogen in Positionen und in Stellungen, die zumindest teilweise auf den dreidimensionalen Zahnformdaten für die jeweiligen Zähne basieren; Vorgeben eines Apparatfixierpunktes an jedem Zahn einer Anzahl von Zähnen; Konstruktion eines individuellen kieferorthopädischen Apparats anhand der dreidimensionalen Zahnformdaten, der vorgegebenen Apparatfixierpunkte und der abgeleiteten Zahnendpositionen mit Hilfe des Computers, so daß der individuelle kieferorthopädische Apparat eine solche Auslegung erhält, daß eine Verbindung zwischen den Zähnen an ihren entsprechenden Fixierpunkten und den Zähnen in den abgeleiteten Zahnendpositionen besteht; Erzeugen maschinenlesbarer Steuersignale, die mit den Ergebnissen des Apparatkonstruktionsschritts korrelierende geometrische Informationen enthalten; und automatisches Fertigen eines individuellen kieferorthopädischen Apparats mit Hilfe einer Fertigungsanlage, die mittels maschinenlesbarer Steuersignale steuerbar ist und den Apparat entsprechend den in den Steuersignalen enthaltenen geometrischen Informationen formt, so daß der individuelle kieferorthopädische Apparat mit der zuvor konstruierten Konfiguration entsteht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem unter dem Begriff Zähne sowohl die Unterkiefer- als auch Oberkieferzähne zu verstehen sind und bei dem der Schritt Vermessen der anatomischen Form die Schritte Vermessen des Unterkiefers eines Patienten und auf dieser Grundlage Gewinnen digitalisierter Daten zur Form des Unterkiefers sowie Vermessen der

8 31.03.00

Unterkiefer- und Oberkieferzähne des Patienten und auf dieser Grundlage Gewinnen digitalisierter Daten zur Form der jeweiligen Unterkiefer- und Oberkieferzähne umfaßt; der Schritt Ableiten der Bogenform den Schritt Ableiten einer Mandibularskelettbogenform aus den digitalisierten Daten zur Unterkieferform mit Hilfe des Computers umfaßt; und der Schritt Ableiten der Zahnendposition den Schritt Ableiten der Zahnendpositionen aus den Zahnformdaten und der abgeleiteten Mandibularskelettbogenform umfaßt, so daß die Zähne unter Berücksichtigung der Mandibularskelettbogenform angeordnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem jeder Zahn eine Krone, eine Wurzel und eine Längsachse aufweist, die im allgemeinen senkrecht durch den Mittelpunkt der Krone verläuft und sich mit einem Gingivamittelpunkt schneidet, in dem die Krone an die Wurzel angrenzt, und bei dem der Schritt Vermessen des Unterkiefers den Schritt Digitalisieren von Punkten von Daten umfaßt, die eine die Wurzeln der Unterkieferzähne einschließende Mandibularalveolenmulde definieren; der Schritt Ableiten der Mandibularskelettbogenform den Schritt Anpassen einer glatten stetigen Mandibularalveolenmuldengleichung an die digitalisierten Punkte der Mandibularalveolenmuldendaten und Gewinnen einer digitalisierten Darstellung der Mandibularalveolenmuldengleichung umfaßt; der Schritt Ableiten der Zahnendposition das Ableiten von Positionen umfaßt, durch die jeder Unterkieferzahn mittig ausgerichtet wird, indem dessen Längsachse approximativ auf die Mandibularalveolenmuldengleichung nahe dem Gingivamittelpunkt des Zahns angeordnet wird, und durch die die obersten Zahnpartien der Unterkieferzähne auf eine glatte stetige Kurve gebracht werden, die durch Anpassen der Mandibularalveolenmuldengleichung abgeleitet wurde; und bei dem der Schritt der Apparatkonstruktion die Festlegung der Apparatkonfiguration mit Hilfe einer Reihe aus der glatten stetigen Kurve abgeleiteter digitaler Werte umfaßt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Vermessen den Schritt Digitalisieren der Daten zur Form des Unterkiefers des Patienten durch Digitalisieren den Grenzen der Kompakta des Patienten entsprechender Grenzpunkte und der Schritt Ableiten der Bogenform den Schritt Ableiten einer die Form der Kompakta des Patienten mathematisch darstellenden Skelettbogenform aus den digitalisierten Daten mit Hilfe einer aus den digitalisierten Grenzpunkten abgeleiteten glatten stetigen Gleichung umfaßt.

B 31.03.00

3

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die glatte stetige Gleichung eine kubische Spline-Funktion durch Punkte ist, die mit den digitalisierten Grenzpunkten in Beziehung stehen.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Ableiten der Bogenform den Schritt Definieren einer Kurve auf der Grundlage der digitalisierten Daten zur anatomischen Form und Glätten der Kurve mit Hilfe eines statistischen Best-fit-Verfahrens zur Gewinnung einer glatten stetigen Bogenformgleichung umfaßt, wobei der Schritt Ableiten der Endposition und der Schritt Konstruktion der Apparatkonfiguration zumindest teilweise auf der Bogenformgleichung basieren.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, das zudem die Schritte digitale Darstellung der abgeleiteten Bogenform durch eine Bogenformgleichung mittels Computer; und Darstellung der Bogenformgleichung durch eine Reihe von einander berührenden Kreissegmenten beinhaltet; und bei dem der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Konstruktion eines bogenförmigen Apparats zumindest teilweise in Übereinstimmung mit einer Reihe von digitalen Werten, die die Kreissegmentlängen und -radien darstellen, die ihrerseits aus den Kreissegmenten der Bogenformgleichung abgeleitet wurden, und der Schritt Fertigen des Apparats den Schritt Umwandeln der Segmentlängen und -radien in eine Reihe von Befehlen zur Gewinnung von Steuersignalen und, gesteuert durch diese Signale, schrittweises Formen des Apparats mit einem einer jeden Segmentlänge des Apparats entsprechenden Radius in Übereinstimmung mit der berechneten Apparatkonfiguration umfaßt.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Vermessen den Schritt Digitalisieren der Entfernungen zwischen den mesialen und distalen Kontaktpunkten eines jeden Zahns zur Definition der mesial-distalen Breiten eines jeden Zahns; der Schritt Ableiten der Zahnendpositionen den Schritt Ableiten der Zahnendpositionen, wobei aneinander angrenzende mesiale und distale Kontaktpunkte benachbarter Zähne miteinander in Kontakt zu bringen sind, wodurch ein Zahnanordnungsbogen gebildet wird, der in bezug auf die Gestalt mit der abgeleiteten Bogenform übereinstimmt und etwa die gleiche Länge wie die Summe der mesial-distalen Breiten der darauf angeordneten Zähne aufweist; und der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Konstruktion der Apparatkonfiguration teilweise anhand der mesial-distalen Breiten und des Zahnanordnungsbogens umfaßt.

B 31.03.00

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Vermessen den Schritt Digitalisieren der für jeden Zahn gewonnenen Zahnprofilaten in Form einer Reihe digitalisierter Punkte von Daten, die die Gestalt der Zahnoberfläche zumindest entlang eines sich im allgemeinen senkrecht und labial-lingual erstreckenden Zahnprofils darstellen; der Schritt Vorgeben des Fixierpunktes den Schritt örtliches Zuweisen eines Apparatfixierpunktes auf der Oberfläche eines jeden einer Anzahl von Zähnen entlang dem Zahnprofil; und der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Konstruktion der vorgegebenen Fixierpunkte und der abgeleiteten Zahnpositionen aus einer Reihe die Gestalt der Zahnoberfläche darstellender Punkte digitalisierter Daten umfaßt.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Ableiten der Bogenform die Schritte Vergleichen entsprechender einander gegenüberliegender Punkte auf einander gegenüberliegenden Seiten der Bogenform und auf der Grundlage dieses Vergleichs Berechnen einer modifizierten Bogenform mit seitlicher Symmetrie gegenüber ihrer Mittellinie sowie Konstruktion des Apparats zumindest teilweise auf der Grundlage der modifizierten Bogenform umfaßt.
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Vermessen den Schritt Digitalisieren der Daten von Punkten an den labialen und lingualen Flächen eines jeden Zahns einer Anzahl von Zähnen des Patienten umfaßt, und das des weiteren beinhaltet: Ableiten einer digitalen Darstellung der Ausrichtung einer Kronenlängsachse eines jeden Zahns in bezug auf die Punkte aus den digitalisierten Daten der labialen und lingualen Fläche sowie Berechnen der Endpositionen der Zähne anhand der digitalisierten Daten und der digitalen Darstellungen der Kronenlängsachsen der Zähne, wobei die berechneten Endpositionen bevorzugte Kronenlängsachsenrichtungen einschließen.
12. Verfahren nach Anspruch 11, das ferner die Schritte Berechnen der bevorzugten Kronenlängsachsenrichtungen für eine Anzahl von Patienten und Dokumentieren der berechneten bevorzugten Kronenlängsachsenrichtungen; Dokumentieren der Personendaten eines jeden Patienten, Zuordnen der Personendaten zu den berechneten bevorzugten Kronenlängsachsenrichtungen und Klassifizieren der Patienten in Populationsgruppen auf der Basis dieser Zuordnung; sowie Erstellen einer Statistik zu den bevorzugten Kronenlängsachsenrichtungen bei den Patienten der Populationsgruppen umfaßt.

B 31.03.00

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Konstruktion der Apparateinsetzhalterkonfigurationen anhand der Zahnformdaten umfaßt, wobei für jede Konfiguration eine Halteroberfläche vorgesehen wird, die mit der jeweiligen Zahnoberfläche übereinstimmt, wodurch die Festlegung der Anordnung des Fixierpunktes und die Fixierung des Apparats an der Zahnoberfläche erleichtert werden; der Schritt Erzeugen der Steuersignale den Schritt Erzeugen von Steuersignalen umfaßt, die zumindest zu einem Teil mit den konstruierten Apparateinsetzhalterkonfigurationen übereinstimmen; und der Schritt Fertigen des Apparats den Schritt automatische Fertigung der Apparateinsetzhalter entsprechend den Steuersignalen zur Gewährleistung der Übereinstimmung mit den berechneten Einsetzhalterkonfigurationen umfaßt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem der Schritt Konstruktion der Apparateinsetzhalterkonfigurationen die Schritte Berechnen der Haltergeometrie anhand der digitalisierten Zahnformdaten und der definierten Fixierpunkte umfaßt, wobei eine Halteranlagefläche, die mit dem individuellen Abschnitt der Kronenaußenfläche eines Zahns übereinstimmt, und eine Apparatangriffsfläche, die hinsichtlich der Lage mit der Halteranlagefläche genauso übereinstimmt, wie der individuelle Abschnitt der Außenfläche mit dem Fixierpunkt am Zahn, definiert werden, so daß die Fertigungsanlage bei Steuerung anhand der Steuersignale einen Halter fertigt, der bei Einsatz am Zahn einen Apparat, auf den er am Fixierpunkt des Zahns zum Befestigen daran aufgesetzt wird, am Ort fixiert und ausrichtet.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem der Schritt Festlegen des Fixierpunktes den Schritt Berechnen der Fixierpunkte anhand der digitalisierten Zahnformdaten; und der Schritt Berechnen der Haltergeometrie den Schritt Festlegen der Apparatangriffsfläche unter dem Aspekt umfaßt, daß diese hinsichtlich der örtlichen Zuordnung mit der Halteranlagefläche in gleicher Weise übereinstimmt, wie der individuelle Abschnitt der Außenfläche mit dem berechneten Fixierpunkt am Zahn übereinstimmt.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem zum Apparat eine Anzahl von Brackets gehört, wobei je eines zum Befestigen an je einem Fixierpunkt an einem Zahn bestimmt ist und jedes Bracket einen Schlitz zur Aufnahme des Bogendrahts aufweist; der Schritt Konstruktion der Apparatkonfiguration Bracketformdaten, so auch eine digitale Darstellung der Position und Neigung des Schlitzes im Bracket, einschließt; und der Schritt Berechnen der Haltergeometrie den Schritt Festlegen der Apparatangriffsfläche umfaßt, so



B 31.03.00

daß ein Teil des Apparats einbezogen ist, der fluchtend auf den Schlitz des Brackets ausgerichtet wird, wenn der Apparat in das Bracket eingesetzt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Berechnen der Bracketauslegung für die Aufnahme eines bogenförmig gestalteten Bogendrahts umfaßt.
18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, bei dem der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Auswählen eines optimalen Rohlings für die Fertigung des Brackets entsprechend der digitalen Schlitzdarstellung unter einer Anzahl von Bracketrohlingen umfaßt.
19. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Schritt Vermessen den Schritt Vermessen der Formen der einzelnen oberen und unteren Zähne und der Unterkieferform des Patienten und darauf aufbauend Gewinnen digitalisierter Daten zu den Formen der oberen und unteren Zähne sowie zur Unterkieferform umfaßt, wobei die Zahnformdaten auch Daten der Schneidkanten der unteren vorderen Schneidezähne und der bukkalen Höcker der unteren hinteren Zähne sowie des zentralen Kamm- oder des Randleistenbereichs der oberen hinteren Zähne beinhalten; der Schritt Ableiten der Zahnendposition die Schritte Ableiten einer Konfiguration des mit Zähnen bestückten Unterkiefers unter Berücksichtigung der Anordnung der unteren Zähne entlang der unteren Bogenkonfiguration mit miteinander kontaktierenden benachbarten Zähnen, und der unteren Bogenkonfiguration; senkrechtes Ausrichten eines jeden unteren Zahns unter dem Aspekt, daß die Schneidkanten der unteren Vorderzähne und die bukkalen Höcker der unteren hinteren Zähne im wesentlichen die gleiche Okklusionsebene einnehmen und einen angestrebten Neigungswinkel aufweisen; Anpassen der mit Zähnen bestückten unteren Bogenkonfiguration zur Erzielung einer Endkonfiguration des mit Zähnen bestückten Unterkiefers durch labial-linguale Positionierung der unteren Zähne, um deren Schneidkanten und bukkalen Höcker auf einen glatten Bogen in der Okklusionsebene auszurichten, wobei benachbarte Zähne miteinander kontaktieren; und Ableiten einer Endkonfiguration des mit Zähnen bestückten Oberkiefers umfaßt, bei der die zentralen Höckerfurchen bzw. die Randleisten der hinteren Zähne horizontal mit der Endkonfiguration des mit Zähnen bestückten Unterkiefers und vertikal mit der Okklusionsebene übereinstimmen; die Vorderzähne mit ihren Schneidkanten unterhalb der Okklusionsebene angeordnet sind, so daß sie eine festgelegte Überdeckung und ein horizontales Offset in labialer Richtung gegenüber der Endkonfiguration des mit Zähnen bestückten Unterkiefers erhalten, damit ein bestimmter Abstand

B 31.03.00

7

zwischen den lingualen Seiten der unteren Vorderzähne und den labialen Seiten der unteren Vorderzähne hergestellt wird; der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Berechnen einer Bracketkonfiguration für die Brackets der einzelnen oberen und unteren Zähne einschließlich des Schlitzwinkels und der Schlitztiefe jedes Brackets und Berechnen der Bogendrahtform für den oberen und unteren Bogendraht, und zwar auf der Grundlage der berechneten Zahnendpositionen, der festgelegten Ebenen für den oberen und unteren Bogendraht, der Zahnformen und der Fixierpositionen; und der Schritt Fertigen des Apparats die Schritte Fertigen des oberen und unteren Bogendrahts in Übereinstimmung mit den berechneten Bogendrahtformen und Fertigen der Brackets entsprechend den berechneten Bracketkonfigurationen umfaßt.

20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, zu dem ferner die Schritte Bereitstellen von Kriterien für die Beschreibung der Abstände zwischen den einzelnen Zähnen und der Drehachse des Unterkiefers gehören, und bei dem der Schritt Ableiten der Zahnendstellung die Schritte Berechnen einer Molarenanhebungskomponente aus den Kriterien und den Zahnformdaten; und vertikales Ausrichten der oberen und unteren Molaren umfaßt, so daß ihre Höcker entsprechend unterhalb oder oberhalb in einem Abstand zur Okklusionsebene angeordnet werden, der mit der berechneten Molarenanhebung in einer bestimmten Beziehung steht.

21. Verfahren nach Anspruch 20, wenn dieser von Anspruch 19 abhängig ist, bei dem der Schritt Ableiten der Endkonfiguration des mit Zähnen bestückten Oberkiefers das Ableiten der Konfiguration umfaßt, bei der die Schneidkanten der oberen Vorderzähne so weit unterhalb der Okklusionsebene angeordnet sind, daß festgelegte Überdeckungen erreicht werden, die in einer bestimmten Beziehung zur berechneten Molarenanhebung stehen.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, bei dem der Schritt Berechnen der Molarenanhebungskomponente die Schritte Bestimmen der Okklusionspaare der entsprechenden oberen und unteren hinteren Zähne des Patienten und Bestimmen eines senkrechten Abstands zwischen dem höchsten Punkt des unteren Zahns des Paares und dem tiefsten Punkt des oberen Zahns des Paares für ein jedes Paar aus den digitalisierten Zahnformdaten, wenn sich die Kiefer in geschlossener Stellung befinden; Ausgleichen eines jeden ermittelten vertikalen Abstands mittels eines Faktors, der einem Abstand eines jeden Paares zur Drehachse proportional ist, und Auswählen des größten ausgeglichenen vertikalen Abstands, indem aus den digitalisierten Daten die Endpositionen der Unterkieferzähne des

B 31.03.00

Patienten berechnet werden, bei denen sich die höchsten Punkte dieser Zähne hinsichtlich der vertikalen Position an einer weitestgehend flachen Okklusionsfläche befinden; und Berechnen der Endpositionen der sich entsprechend bis unter und über die Okklusionsfläche erstreckenden oberen und unteren Molaren des Patienten umfaßt.

23. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, zu dem des weiteren die Schritte Bereitstellen eines Systems für die Konstruktion und zum Fertigen kieferorthopädischer Apparate einschließlich eines Dateneingabe-Untersystems zur Digitalisierung der Eingabedaten von gemessenen anatomischen Formen und zur Erzeugung von Eingangssignalen als Träger der digitalisierten Eingabedaten, eines Datenverarbeitungs-Untersystems zur Verarbeitung der digitalisierten Eingangssignale und zur Erzeugung entsprechender Ausgangssignale als Träger der Steuersignale und eines Apparatfertigungs-Ausrüstungs-untersystems mit der dazugehörigen Fertigungsanlage zur durch die Ausgangssignale gesteuerten Herstellung eines individuellen kieferorthopädischen Apparats für die Behandlung des Patienten durch Bewegen der Zähne des Patienten in die bevorzugten Endpositionen; und Erzeugen von Ausgangssignalen für die Steuerung des Apparatfertigungs-Ausrüstungs-untersystems mit Hilfe des Datenverarbeitungs-Untersystems aus der abgeleiteten Bogenform zur Herstellung eines individuellen kieferorthopädischen Apparats; sowie Fertigen des individuellen kieferorthopädischen Apparats mit der individuellen Konfiguration mit Hilfe des Apparatfertigungs-Ausrüstungs-untersystems entsprechend dem Ausgangssignal und den Steuersignalen gehören.

24. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem zum individuellen kieferorthopädischen Apparat ein Bogendraht in gebogener Form, die mathematisch in Beziehung steht zur Skelettbogenform der Mandibularalveolenmulde; zum Apparatfertigungs-Ausrüstungs-untersystem eine Drahtbiegevorrichtung, die durch Signale gesteuert wird, für die das Ausgangssignal als Träger dient; und zum Ausgangssignal eine Reihe von Steuersignalen zur Steuerung der Drahtbiegevorrichtung gehören, so daß sie mit einem Draht gespeist wird und das Biegen des zugeführten Drahts entsprechend der individuellen Bogendraht-konfiguration erfolgt, um den Bogendraht an den Zähnen eines Kiefers an den entsprechenden Fixierpunkten fixieren zu können.

25. Verfahren nach Anspruch 24, bei dem die digitalisierten Eingabedaten Informationen enthalten, aus denen der Fixierpunkt des Apparats und die Neigung der Fläche am Fixierpunkt abgeleitet werden können; bei dem zum individuellen kieferorthopädischen

B 31.03.00

Apparat eine Anzahl von Brackets, und zwar je Fixierpunkt des Zahns eines, gehört, wobei jedes eine Basis, die sich am entsprechenden Fixierpunkt fixieren läßt, und einen für die Aufnahme des Bogendrahts bestimmten Bogendrahtschlitz aufweist; zum Apparatfertigungs-Ausrüstungsuntersystem eine Bracketfertigungsvorrichtung gehört, die mittels Steuersignale gesteuert wird, für die das Ausgangssignal als Träger dient; und zum Ausgangssignal eine Reihe von Steuersignalen zur Steuerung der Bracketfertigungsvorrichtung gehört, die dazu dienen, jedes Bracket mit dem Bogendrahtschlitz in einer solchen Richtung zur Basis ausgerichtet zu fertigen, daß dieser einen Punkt am Bogendraht bezüglich des Fixierpunktes des entsprechenden Zahns stützt und orientiert und so eine Kraft zwischen diesen Punkten überträgt und schließlich den Zahn in Richtung seiner Endposition drückt.

26. Verfahren nach Anspruch 25, bei dem die digitalisierten Eingabedaten Informationen zum Zahnumriß enthalten; zum individuellen kieferorthopädischen Apparat ein Bracket-einsetzhalter für jedes Bracket mit einer Fläche zur individuell paßgerechten Positionierung des Halters an der Zahnfläche und zur Positionierung des Brackets am Zahn an dessen Fixierpunkt gehört; zum Apparatfertigungs-Ausrüstungsuntersystem eine Bracketeinsetzhalter-Fertigungsvorrichtung gehört, die mit Hilfe der Steuersignale gesteuert wird, für die als Träger das Ausgangssignal dient; und zum Ausgangssignal eine Reihe von Steuersignalen zur Steuerung der Vorrichtung für die Fertigung von Bracketeinsetzhaltern gehört.

27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, bei dem der Schritt Apparatfertigung die Schritte Bereitstellen einer Anzahl von Bracketrohlingen; und Herstellen eines Brackets aus dem Bracketrohling durch Ausbilden eines Bogendrahtschlitzes in jedem der Bracketrohlinge in einer solchen Weise umfaßt, daß jeder Schlitz beim Befestigen des Brackets am Fixierpunkt eines Zahns in einer Bogendrahtebeane angeordnet ist, wobei sich der Zahn in seiner abgeleiteten Endposition befindet.

28. Verfahren nach Anspruch 27, bei dem der Schritt Ableiten der Bogenform den Schritt aus den digitalisierten Daten vorgenommene Ableiten einer Skelettbogenform umfaßt, die mathematisch die Form der Kompakta des Patienten mittels einer glatten stetigen Gleichung darstellt, die ihrerseits von den digitalisierten Grenzpunkten abgeleitet wurde, die den Grenzen der Kompakta des Patienten entsprechen und die Bogenformgleichung mit Hilfe einer Reihe von einander berührenden Kreissegmenten darstellen; der Schritt Bracket Schlitzfräsen den Schritt Ausführen des Schlitzes bis auf eine Tiefe, die durch das Sichschneiden der Bogenformgleichung mit dem Bracket bestimmt wird, wenn das Bracket am Fixierpunkt

8 31.03.00

10

eines in seiner abgeleiteten Endposition befindlichen Zahns befestigt ist; und der Schritt Bracketschlitzfräsen den Schritt Ausführen des Schlitzes bis zu einer Schlitzgrundflächenkurve mit dem Radius des schneidenden Kreissegments der Bogenformgleichung umfaßt.

29. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem zur Gewährleistung eines optimalen Zwischenraums zwischen dem Apparat und der Gingiva eines Patienten sowie eines optimalen Zwischenraums zu den Zähnen des anderen Kiefers des Patienten der Schritt Festlegen der Position des Fixierpunktes die Schritte Digitalisieren der Geometrie von Teilen des Apparats; anhand der digitalisierten Zahnformdaten erfolgendes Berechnen der Beziehungen zwischen Punkten auf den Zahnflächen der gegenüberliegenden Kiefer des Patienten; anhand der digitalisierten Daten erfolgendes Berechnen der Stellen an den Oberflächen der Zähne eines Kiefers des Patienten, an denen der Apparat zu fixieren ist, damit ein optimaler Zwischenraum zwischen dem Apparat und der Gingiva eines Patienten und ein optimaler Zwischenraum zu den Zähnen des anderen Kiefers des Patienten gewährleistet wird; sowie Konstruktion der Apparatkonfiguration entsprechend den berechneten Orten für die Fixierung des Apparats an den Zähnen des Patienten umfaßt.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, bei dem zu dem individuellen kieferorthopädischen Apparat ein Bogendraht gehört; der Schritt Konstruktion des Apparats den Schritt Ableiten der digitalen Bogendrahtformdaten, die zumindest teilweise auf der abgeleiteten Bogenform basieren; und der Schritt Erzeugen des Steuersignals den Schritt anhand der digitalen Bogendrahtformdaten erfolgendes Erzeugen eines Drahtform-Steuersignals, so daß von der Bogendrahtformvorrichtung, wenn dies an die Vorrichtung angelegt wird, ein individueller kieferorthopädischer Apparat entsprechend den anatomischen Formgegebenheiten des Mundes des Patienten hergestellt wird; und Formen einer Länge des kieferorthopädischen Bogendrahtmaterials in eine angestrebte Form entsprechend dem Drahtform-Steuersignal zwecks Herstellung eines individuellen Bogendrahts umfaßt.

31. Verfahren nach Anspruch 30, bei dem der Schritt Erzeugen eines Steuersignals die Schritte Bereitstellen von Materialeigenschaftsdaten des Bogendrahts; und Erzeugen des Drahtbiegesteuersignals anhand der Materialeigenschaftsdaten des Bogendrahts umfaßt.

32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, das ferner die Schritte Messen der Bogendrahtspannweite zwischen zwei Punkten an dem hergestellten individuellen Bogendraht;

Berechnen einer Konstruktions-Bogendrahtspannweite aus den abgeleiteten Bogendrahtformdaten; Vergleichen der gemessenen Bogendrahtspannweite mit der Konstruktions-Bogendrahtspannweite und Übermitteln eines Ergebnisses des Vergleichs; sowie Erzeugen des Drahtbiege-Steuersignals entsprechend dem übermittelten Vergleichsergebnis umfaßt.

33. Fertigungskomplex für die Herstellung eines individuellen kieferorthopädischen Apparats, zu dessen Bestandteilen zählen: technische Mittel (30, 30a, 33, 43, 50, 57) zum Vermessen der anatomischen Formen (20 bis 24) des Mundes (18) des Patienten (12) und darauf aufbauend zur Erzeugung digitalisierter Daten zur anatomischen Form (26) einschließlich dreidimensionaler Zahnformdaten, die die Formen der einzelnen Zähne des Patienten darstellen, und ein digitaler Computer (30b, 30c) einschließlich der Programme zur Ableitung einer idealen Zahnbogenform aus den digitalisierten Daten (26) mit Hilfe eines speziell programmierten Computers (30b) zur Gewinnung eines digitalisierten Bogenformmodells, das zumindest teilweise von den digitalisierten Daten zur anatomischen Form abhängt; zum Ableiten der Zahnendpositionen aus den digitalisierten anatomischen Daten (26) und der abgeleiteten digitalisierten idealen Bogenform mit Hilfe des Computers zur mesiodistalen Anordnung der Zähne auf der abgeleiteten idealen Zahnbogenform und zur Bewegung der Zähne in bezug auf den abgeleiteten idealen Zahnbogen in Positionen und in Stellungen, die zumindest teilweise auf den dreidimensionalen Zahnformdaten für die jeweiligen Zähne basieren; zum Vorgeben eines Apparatfixierpunktes an jedem Zahn einer Anzahl von Zähnen; zur Konstruktion einer Apparatkonfiguration anhand der digitalisierten Zahnformdaten, der vorgegebenen Apparatfixierpunkten und der abgeleiteten Zahnendpositionen unter dem Aspekt, daß der entsprechend diesen Daten gefertigte individuelle Apparat eine solche Auslegung erhält, daß eine Verbindung zwischen den Zähnen an ihrem jeweiligen Fixierpunkt und den Zähnen in den abgeleiteten Zahnendpositionen besteht; zum Erzeugen eines Maschinencodes (42), der mit der konstruierten Apparatkonfiguration in einer bestimmten Beziehung stehende geometrische Informationen enthält; und eine Fertigungsanlage (38, 39, 40, 41) zum automatischen Fertigen eines individuellen kieferorthopädischen Apparats (25) durch Formen des Apparats (25) entsprechend dem Maschinenkode (42) in Übereinstimmung mit den geometrischen Informationen, so daß auf diese Weise der Apparat (25) mit der konstruierten Konfiguration entsteht.

34. Fertigungskomplex nach Anspruch 33, bei dem zur Fertigungsanlage (38) eine Bogendrahtformvorrichtung (40) mit technischen Mitteln (66 bis 71) zum Formen einer Länge

von kieferorthopädischem Bogendrahtmaterial (69) in eine angestrebte Form entsprechend einem an diese technischen Mittel angelegten Drahtform-Steuersignal; sowie Programmeinheiten mit Einheiten zur Erzeugung eines Drahtform-Steuersignals in Übereinstimmung mit den digitalen Bogendrahtformdaten gehören, so daß bei Anliegen des Signals an der Bogendrahtformvorrichtung diese einen individuellen kieferorthopädischen Bogendraht (64) entsprechend der jeweiligen anatomischen Form des Mundes (18) des Patienten herstellt.

35. Fertigungskomplex nach Anspruch 34, bei dem die abgeleiteten digitalen Bogendrahtformdaten die mit einer Längskomponente der abgeleiteten digitalen Bogendrahtformdaten in einer Beziehung stehenden Drahtlängendaten und die mit einer Krümmungskomponente der abgeleiteten digitalen Bogendrahtformdaten in einer Beziehung stehenden Drahtkrümmungsdaten enthalten, die eine Funktion der Längskomponente sind; bei dem zum Drahtform-Steuersignal ein als Träger der Drahtlängendaten dienendes Drahtzuführungssteuersignal und ein als Träger der Drahtkrümmungsdaten dienendes Drahtbiegesteuersignal gehören; bei dem zu den Programmeinheiten Einheiten zur Erzeugung des Drahtzuführungssteuersignals und Einheiten zur Erzeugung eines Drahtbiegesteuersignals und zur Übertragung der Steuersignale an die Bogendrahtformvorrichtung gehören; und bei dem zur Bogendrahtformvorrichtung (40) eine Zuführungsvorrichtung (68) zur Zuführung des kieferorthopädischen Bogendrahtmaterials (69) in Längsrichtung entsprechend dem Drahtzuführungssteuersignal und eine Vorrichtung (70) zum Biegen des mit Hilfe der Drahtzuführungsvorrichtung (68) zugeführten Bogendrahtmaterials (69) in Querrichtung entsprechend dem Drahtbiegesteuersignal und synchron mit der Zuführung des Bogendrahtmaterials (69) gehören.

36. Fertigungskomplex nach Anspruch 34, bei dem die digitalen Bogendrahtformdaten eine digitale Darstellung einer Reihe von zusammenhängenden Drahtsegmenten sind, von denen ein jedes eine Längskomponente und eine Krümmungskomponente aufweist; und zur Bogendrahtformvorrichtung eine Vorrichtung zur Zuführung einer Reihe von Längen des kieferorthopädischen Bogendrahtmaterials in Längsrichtung entsprechend den jeweiligen Drahtlängendaten in Übereinstimmung mit den Drahtlängendaten und eine Vorrichtung (70) zum Biegen einer jeden zugeführten Länge des Bogendrahtmaterials (69) in eine Form mit einer Krümmung entsprechend der jeweiligen Drahtkrümmungskomponente in Übereinstimmung mit den Drahtkrümmungsdaten gehören.

37. Fertigungskomplex nach Anspruch 36, bei dem jedes Drahtsegment die Form eines Kreissegments mit einer Segmentlängenkomponente als Ausdruck für eine tangentielle Länge des Bogendrahtmaterials und mit einer Segmentkrümmungskomponente als Ausdruck eines konstanten Krümmungsradius des Materials über die tangentielle Länge des Segments aufweist; und zur Zuführungsvorrichtung (68) eine Vorrichtung für die Zuführung einer Reihe von tangentialen Längen des kieferorthopädischen Bogendrahtmaterials (69) und zur Biegevorrichtung (70) eine Vorrichtung zum Biegen einer jeden zugeführten Länge des Bogendrahtsegments in einer Form mit gleichbleibendem Radius entsprechend den Drahtkrümmungsdaten gehören.

38. Fertigungskomplex nach Anspruch 37, bei dem die Zuführungsvorrichtung (68) für die fortlaufende Zuführung einer Reihe von Längen des Bogendrahtmaterials, die den Längenkomponenten der Kreissegmente gleich sind, entsprechend dem Drahtzuführungssignal auf einer längs ausgerichteten Bahn vorgesehen ist; bei dem zur Biegevorrichtung (70) ein Biegeelement (70b), das entsprechend dem Drahtbiegesignal quer zur Bahn bewegt werden kann, um so die Biegung in Querrichtung auf das Segment zu übertragen, und ein Querrichtungspositionssensor zur Erzeugung eines auf die Biegung ansprechenden Rückkopplungssignals gehören; und bei dem zum Computer (30b, 30c) eine Einheit zur Modifizierung des Drahtbiegesteuersignals entsprechend dem Rückkopplungssignal zur Gewährleistung der geschlossenen Steuerung des Biegeelements gehört.

39. Fertigungskomplex nach einem der Ansprüche 36 bis 38, zu dem des weiteren eine Vorrichtung zum Messen der Bogendrahtspannweite zwischen Punkten am ersten und letzten Segment der Reihe von hergestellten individuellen kieferorthopädischen Bogendrahten (64) gehört; bei dem zu den Programmeinheiten Einheiten zur Berechnung einer Bogendraht-Konstruktionsspannweite anhand der abgeleiteten Bogendrahtformdaten; sowie Einheiten zum Vergleich der gemessenen Bogendrahtspannweite mit der Bogendraht-Konstruktionsspannweite und zum Speichern der Vergleichsergebnisse gehören; und bei dem die Programmeinheiten für die Erzeugung des Drahtformsteuersignals entsprechend einem gespeicherten Vergleichsergebnis vorgesehen sind.

40. Fertigungskomplex nach einem der Ansprüche 36 bis 39, bei dem zu den Programmeinheiten mit den Einheiten zur Erzeugung der Drahtformsteuersignale im Datenaustausch stehende Einheiten für den Empfang der Materialeigenschaftsdaten des Bogendrahtmaterials und für die Modifizierung des Drahtbiegesteuersignals entsprechend den



Eigenschaftsdaten gehören, wodurch ein Ausgleich der elastischen Eigenschaften des Materials ermöglicht wird.

41. Fertigungskomplex nach einem der Ansprüche 33 bis 40, bei dem zur Fertigungsanlage (38) eine Bracketfertigungsvorrichtung (39) mit einer Spannvorrichtung (73) einschließlich dazugehöriger Elemente zur Aufnahme eines Bracketrohlings (80) für die Herstellung; und Elemente (75 bis 77) zur Bearbeitung mindestens einer Oberfläche eines in der Spannvorrichtung (73) eingespannten Bracketrohlings (80) entsprechend einem Fertigungsanlagensteuersignal, das in Übereinstimmung mit dem Steuersignal an diese angelegt wurde, einschließlich einem Element (77) zur Bearbeitung des in der Spannvorrichtung (73) eingespannten Bracketrohlings (80) zur Fertigung eines Brackets, das mit einem Schlitz mit einer berechneten geometrischen Beziehung zur Befestigungsfläche der Bracketbasis ausgeführt wird, gehören.

42. Fertigungskomplex nach Anspruch 41, bei dem jeder Schlitz durch eine im allgemeinen parallele Ober- und Unterseite, die eine Schlitzneigung definieren, und eine Schlitzgrundfläche an einem seiner Enden in größter Nähe zur Bracketbasis, die eine Schlitzposition definiert, gekennzeichnet ist; und jede berechnete geometrische Beziehung eines Schlitzes zur Befestigungsfläche eines Brackets durch die Schlitzneigung und eine Schlitzanordnung in bezug auf die Befestigungsfläche gekennzeichnet ist; bei dem das erzeugte Fertigungsanlagensteuersignal als Träger der Fertigungsanlagensteuerbefehle zur Betätigung der Fertigungselemente (75 bis 77) für die Bearbeitung des Bracketrohlings (80) zwecks Herstellung eines Brackets mit einem Schlitz (80b) mit der berechneten Schlitzneigung und -anordnung bezüglich der Befestigungsfläche dient; bei dem der Schlitz (80b) jedes Brackets so ausgeführt ist, daß ein Bogendraht (64) mit einer individuellen Krümmung unmittelbar am Zahn, an dem das Bracket befestigt werden soll, aufgenommen wird; bei dem jede berechnete geometrische Beziehung eines Schlitzes zur Befestigungsfläche eines Brackets durch eine mit der individuellen Krümmung des unmittelbar daran anliegenden Bogendrahts (64) übereinstimmende Schlitzgrundflächenkrümmung gekennzeichnet ist; und das erzeugte Fertigungsanlagensteuersignal als Träger von Fertigungsanlagensteuerbefehlen zur Betätigung der Fertigungselemente für die Bearbeitung des Bracketrohlings zwecks Herstellung eines mit einem Schlitz mit der berechneten Schlitzgrundflächenkrümmung ausgeführten Brackets dient.

43. Fertigungskomplex nach Anspruch 41 oder 42, bei dem zu den Fertigungselementen (75 bis 77) Elemente (77) zum Fräsen eines Schlitzes (80b) entsprechend dem Steuersignal gehören.

44. Fertigungskomplex nach einem der Ansprüche 41 bis 43, bei dem die Spannvorrichtung (73) und die Fertigungselemente (75 bis 77) an einem Ständer (72) montiert sind; und zu dem technische Mittel (74) zum Ausrichten der Spannvorrichtung (73) auf einen bestimmten Winkel bezüglich des Ständers (72) und der Fertigungselemente (75 bis 77) sowie technische Mittel (75, 76) zum Bewegen der Fertigungselemente (77) relativ zum Ständer (72) und zur Spannvorrichtung (73) entsprechend dem Steuersignal gehören.

45. Fertigungskomplex nach einem der Ansprüche 33 bis 44, bei dem zur Fertigungsanlage (38) eine Halterfertigungsvorrichtung einschließlich der technischen Mittel (81) zur Fertigung eines Halters für das Einsetzen eines individuellen kieferorthopädischen Apparats am Zahn eines Patienten, einschließlich der dazugehörenden technischen Mittel (81) zum Bearbeiten der Konturen einer Fläche eines Halterrohlingsmaterials (83) entsprechend einem dieser Vorrichtung zugeführten Steuersignal gehört; zu den technischen Mitteln zur Vermessung (30, 30a, 33, 43, 50, 57) Einheiten zur Bereitstellung einer digitalisierten Aufzeichnung der Zahnformen eines Patienten (12) und der mit dieser Zahnformaufzeichnung verknüpften Stellen der Apparatfixierpunkte auf den Zahnoberflächen gehören; zu den Programmeinheiten Einheiten zur anhand der Aufzeichnung der digitalisierten Zahnformen und der Fixierpunkte erfolgenden Berechnung der Haltergeometrie, die eine Halteranlagefläche definiert, die einem individuellen Abschnitt der Kronenaußenfläche eines Zahns entspricht, und eine Apparatangriffsfläche definiert, die die gleiche örtliche Zuordnung gegenüber der Halteranlagefläche hat wie der individuelle Abschnitt der Außenfläche gegenüber dem Fixierpunkt am Zahn, gehören; und zu den Einheiten für die Erzeugung von Signalen Einheiten für die Erzeugung eines Fertigungsanlagensteuersignals als Träger der Fertigungsanlagensteuerbefehle für die Fertigung eines Halters (82) entsprechend der berechneten Haltergeometrie gehören.

46. Fertigungskomplex nach Anspruch 45, bei dem zum Apparat eine Anzahl von Brackets (80), und zwar je eines zum Fixieren an jedem Fixierpunkt an einem Zahn gehören; und zu dem des weiteren Einheiten zur Bereitstellung digitalisierter Bracketformdaten einer Außenfläche eines jeden an einem Fixierpunkt zu befestigenden Brackets gehören; und bei dem zur Haltergeometrieberechnungseinheit eine Einheit zur Festlegung der Halteranlage-

8 31.03.00

16

fläche am Apparat gehört, damit, auch gemäß den digitalisierten Bracketformdaten, eine Übereinstimmung mit der vorgegebenen Apparatgeometrie gewährleistet wird.

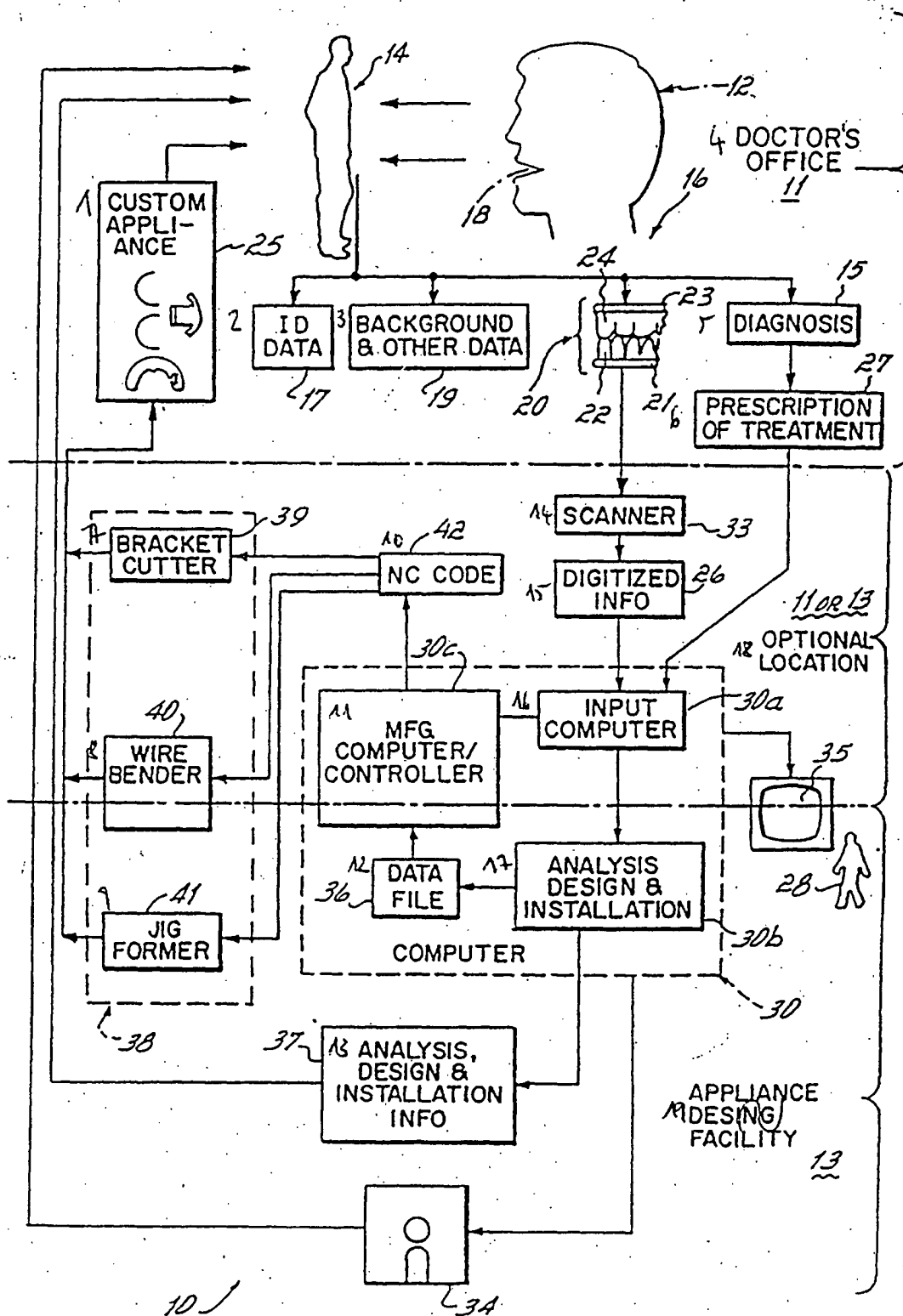


FIG. 1

B 31.03.00

**Fig. 1**

- 1) individueller Apparat
- 2) Identifikationsdaten
- 3) Hintergrund- und andere Daten
- 4) Arztpraxis
- 5) Diagnose
- 6) Verordnung der Behandlung
- 7) Bracketfertigungsvorrichtung
- 8) Drahtbiegevorrichtung
- 9) Halterbearbeitungsvorrichtung
- 10) NC-Code
- 11) Computer/Steuereinheit
- 12) Dateien
- 13) Informationen über Analyse, Konstruktion und Einsetzen
- 14) Scanner
- 15) digitalisierte Informationen
- 16) Eingabecomputer
- 17) Analyse, Konstruktion und Einsetzen
- 18) mögliche Zusatzeinrichtungen
- 19) Apparatfertigungsstätte

B 31.03.00

2/54

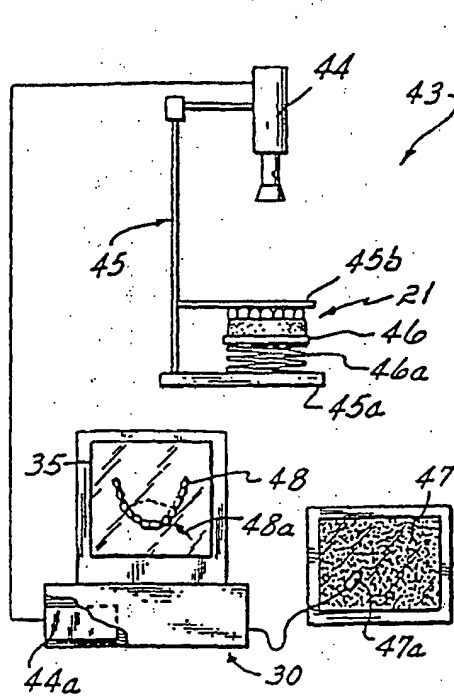


FIG. 1A

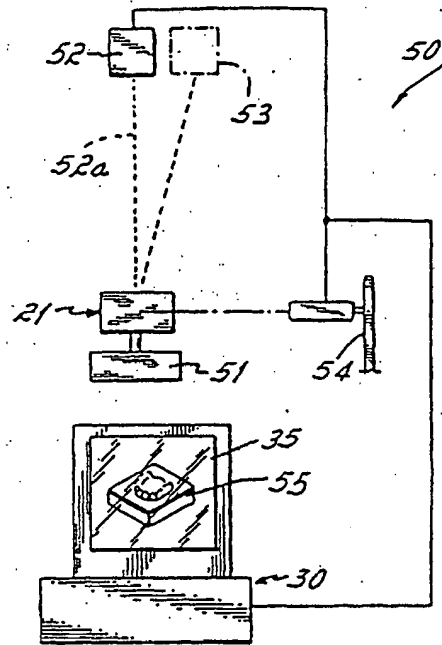


FIG. 1B

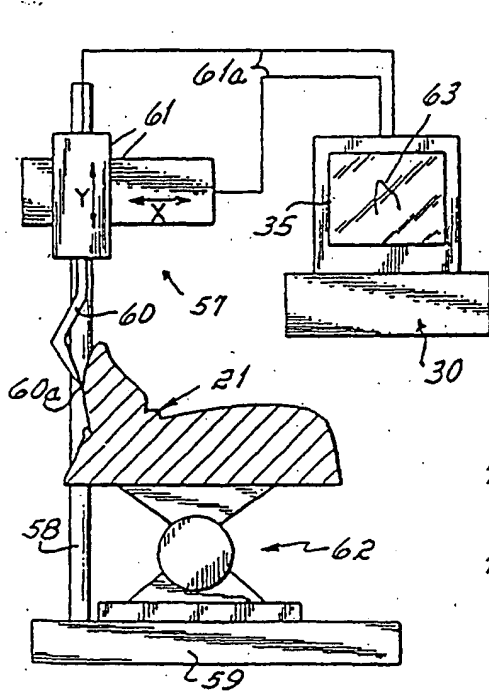


FIG. 1C

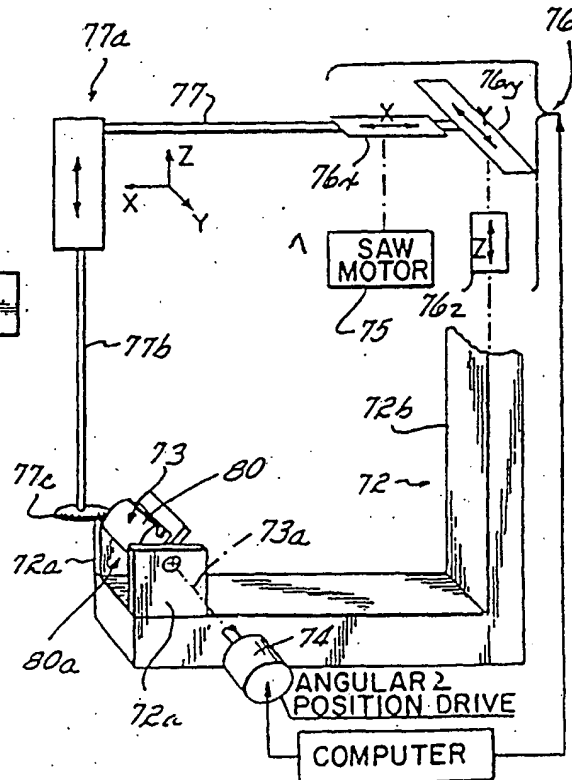


FIG. 1D

B 31.03.00

Fig. 1D

- 1) Fräsermotor
- 2) Winkelpositionsantrieb





B 31.03.00

Fig. 1F

1) Fräsermotor

B 3103-00

4/54

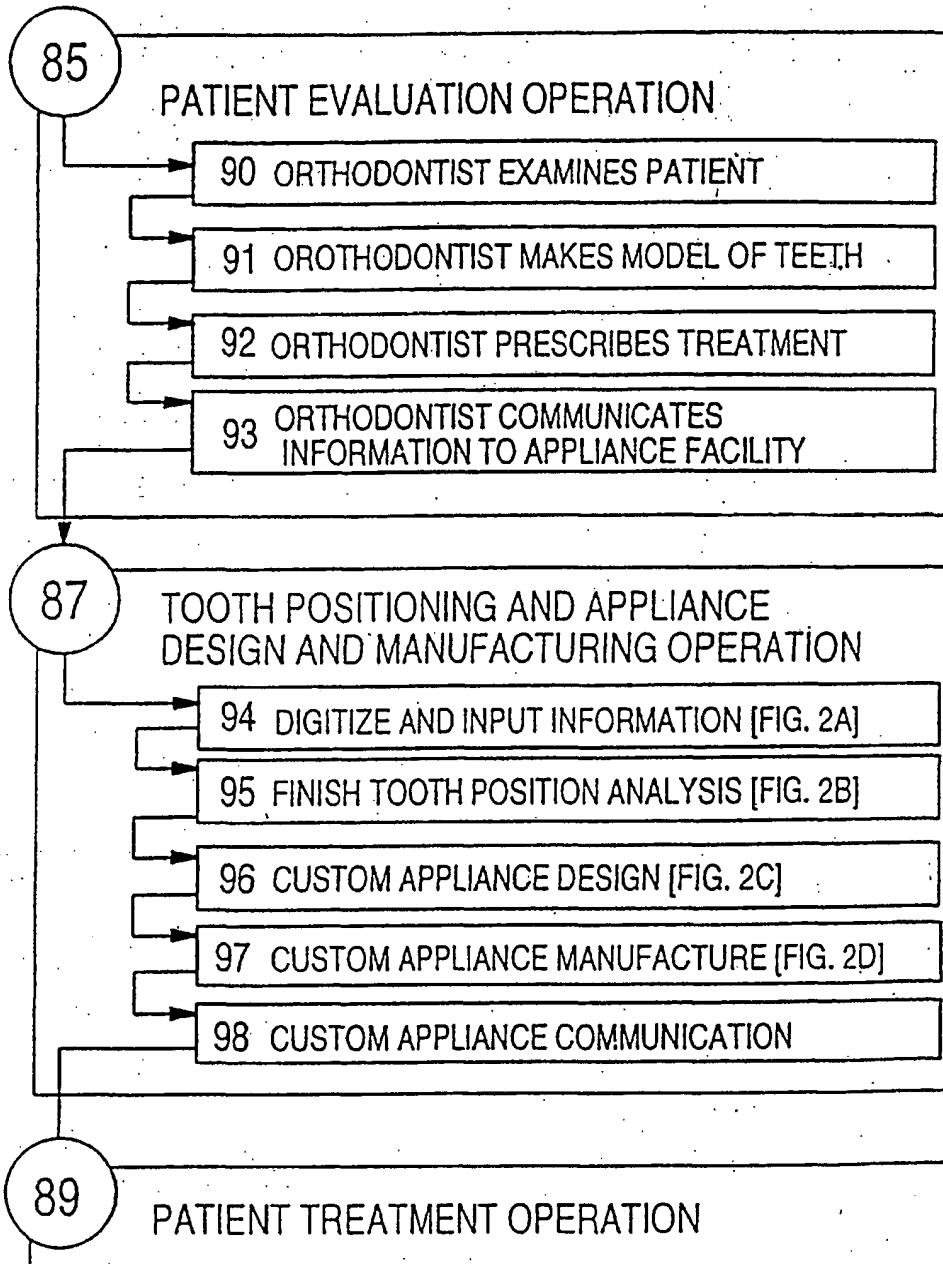


FIG. 2

B 31.03.00

**Fig. 2**

- 85) . Arbeitsgang Einschätzung des Patienten
- 90) Kieferorthopäde untersucht Patienten
- 91) Kieferorthopäde fertigt Zahnmodell an
- 92) Kieferorthopäde verordnet Behandlung
- 93) Kieferorthopäde übermittelt Informationen an Fertigungsstätte
  
- 87) Arbeitsgang Zahnpositionierung, Apparatkonstruktion und Fertigung
- 94) Digitalisierung und Eingabe der Informationen (Fig. 2A)
- 95) Analyse der Zahnendpositionen (Fig. 2B)
- 96) Konstruktion des individuellen Apparats (Fig. 2C)
- 97) Fertigung des individuellen Apparats (Fig. 2D)
- 98) Kommunikation über individuellen Apparat
  
- 89) Arbeitsgang Behandlung des Patienten

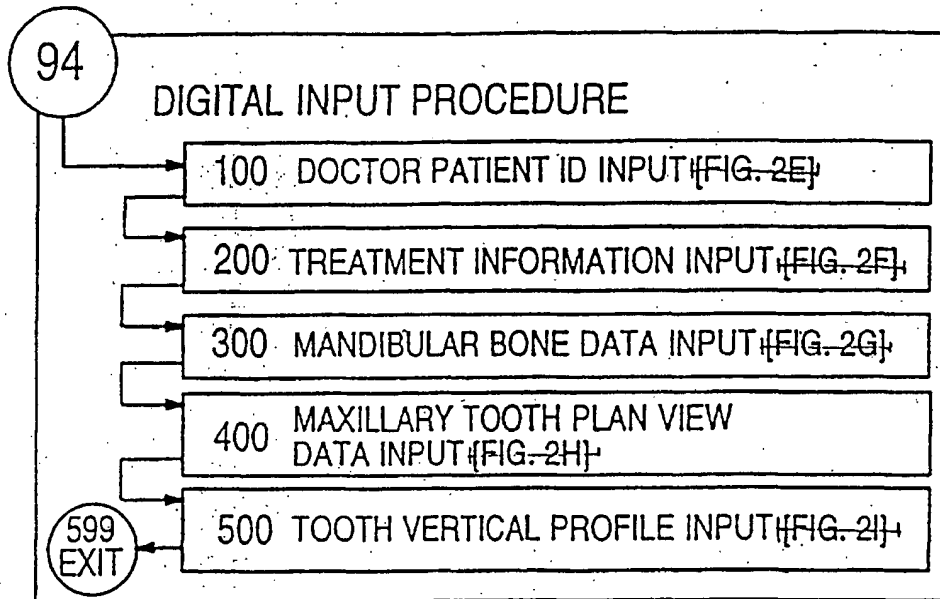


FIG. 2A

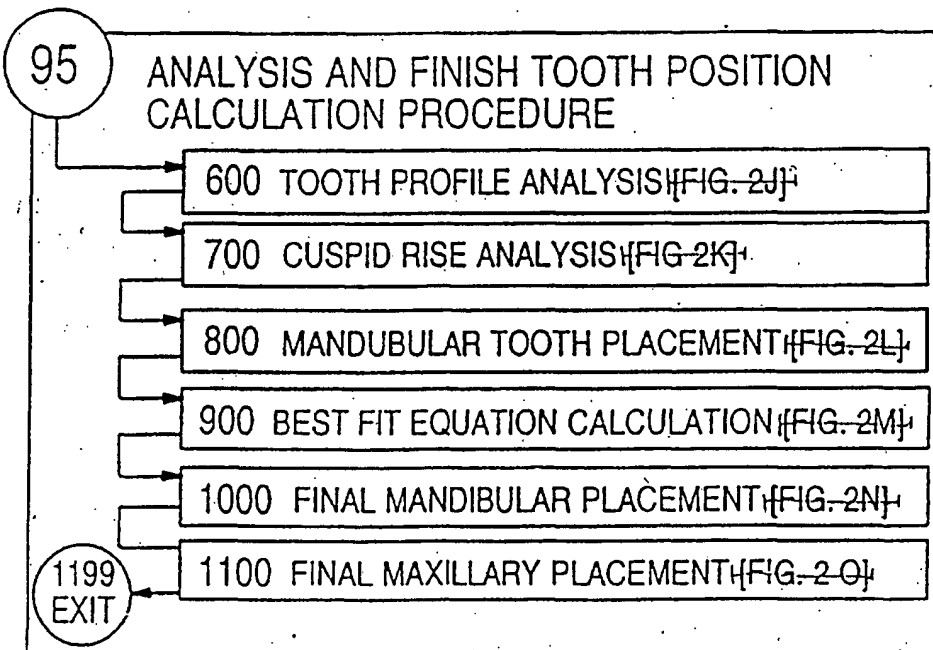


FIG. 2B

B 31.03.00

**Fig. 2A**

- 94) Prozedur der digitalen Eingabe
- 100) Eingabe der Identifikationsdaten ID über Arzt und Patient
- 200) Eingabe der Informationen über Behandlung
- 300) Eingabe der Daten über Unterkieferknochen
- 400) Eingabe der Daten zu einer Draufsicht der Oberkieferzähne
- 500) Eingabe eines vertikalen Zahnprofils

**Fig. 2B**

- 95) Prozedur der Analyse und Berechnung der Zahnendposition
- 600) Zahnprofilanalyse
- 700) Analyse der Eckzahnhebung
- 800) Anordnung der Unterkieferzähne
- 900) Berechnung nach Best-fit-Funktion
- 1000) abschließende Unterkieferanordnung
- 1100) abschließende Oberkieferanordnung

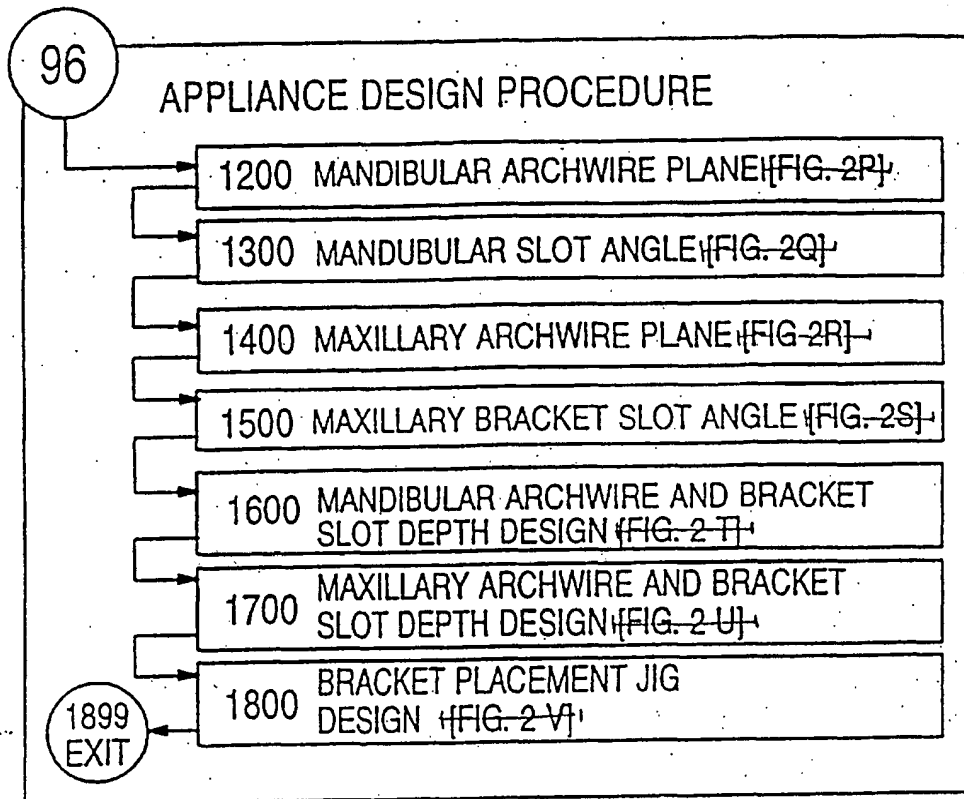


FIG. 2C

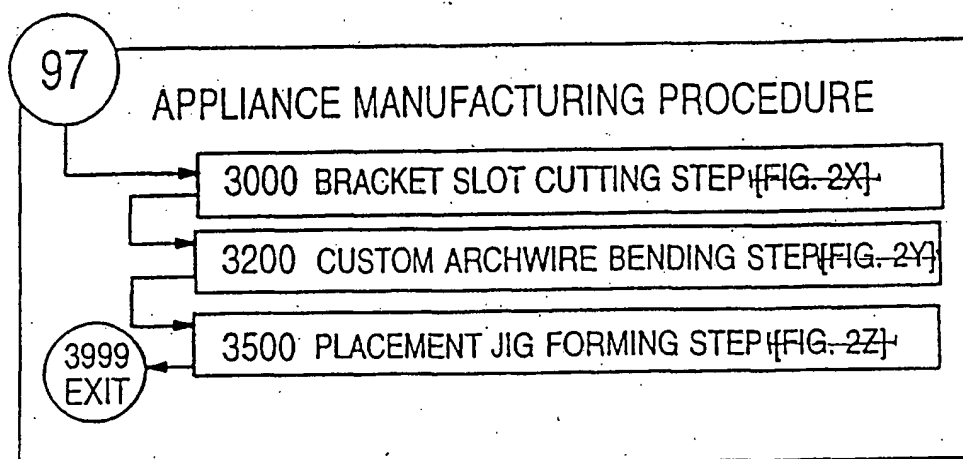


FIG. 2D

B 31.03.00

**Fig. 2C**

- 96) Prozedur der Apparatfertigung
- 1200) mandibulare Bogendrahtebeue
- 1300) mandibularer Schlitzwinkel
- 1400) maxillare Bogendrahtebeue
- 1500) maxillarer Bracketschlitzwinkel
- 1600) Konstruktion des Bogendrahts und der Bracketschlitztiefe für Unterkiefer
- 1700) Konstruktion des Bogendrahts und der Bracketschlitztiefe für Oberkiefer
- 1800) Konstruktion Bracketeinsetzhalter

**Fig. 2D**

- 97) Prozedur der Apparatfertigung
- 3000) Schritt Bracketschlitzfräsen
- 3200) Schritt Biegen des individuellen Bogendrahts
- 3500) Schritt Bearbeitung der Einsetzhalter

B 31.03.00

**Fig. 2**

- 85) Arbeitsgang Einschätzung des Patienten
- 90) Kieferorthopäde untersucht Patienten
- 91) Kieferorthopäde fertigt Zahnmodell an
- 92) Kieferorthopäde verordnet Behandlung
- 93) Kieferorthopäde übermittelt Informationen an Fertigungsstätte
  
- 87) Arbeitsgang Zahnpositionierung, Apparatkonstruktion und Fertigung
- 94) Digitalisierung und Eingabe der Informationen (Fig. 2A)
- 95) Analyse der Zahnendpositionen (Fig. 2B)
- 96) Konstruktion des individuellen Apparats (Fig. 2C)
- 97) Fertigung des individuellen Apparats (Fig. 2D)
- 98) Kommunikation über individuellen Apparat
  
- 89) Arbeitsgang Behandlung des Patienten



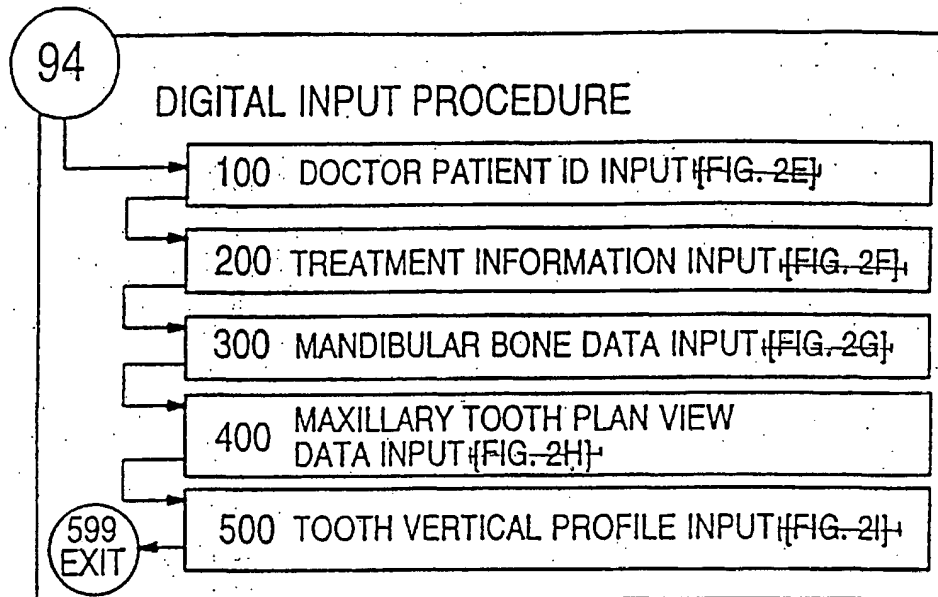


FIG. 2A

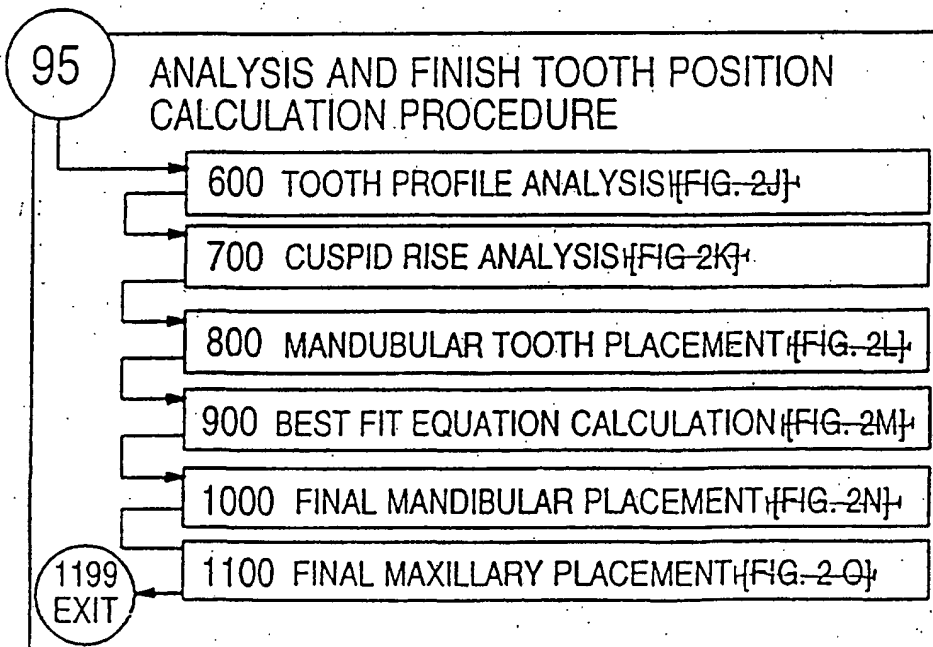


FIG. 2B

B 31.03.00

**Fig. 2A**

- 94) Prozedur der digitalen Eingabe
- 100) Eingabe der Identifikationsdaten ID über Arzt und Patient
- 200) Eingabe der Informationen über Behandlung
- 300) Eingabe der Daten über Unterkieferknochen
- 400) Eingabe der Daten zu einer Draufsicht der Oberkieferzähne
- 500) Eingabe eines vertikalen Zahnprofils

**Fig. 2B**

- 95) Prozedur der Analyse und Berechnung der Zahnendposition
- 600) Zahnprofilanalyse
- 700) Analyse der Eckzahnanhebung
- 800) Anordnung der Unterkieferzähne
- 900) Berechnung nach Best-fit-Funktion
- 1000) abschließende Unterkieferanordnung
- 1100) abschließende Oberkieferanordnung

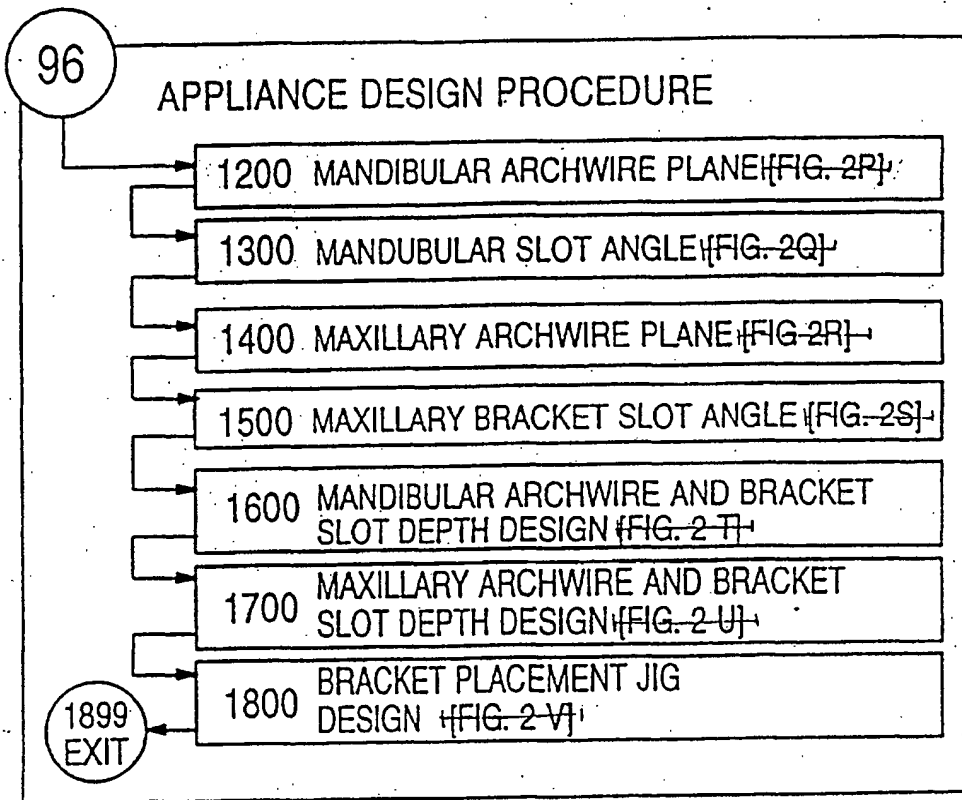


FIG. 2C

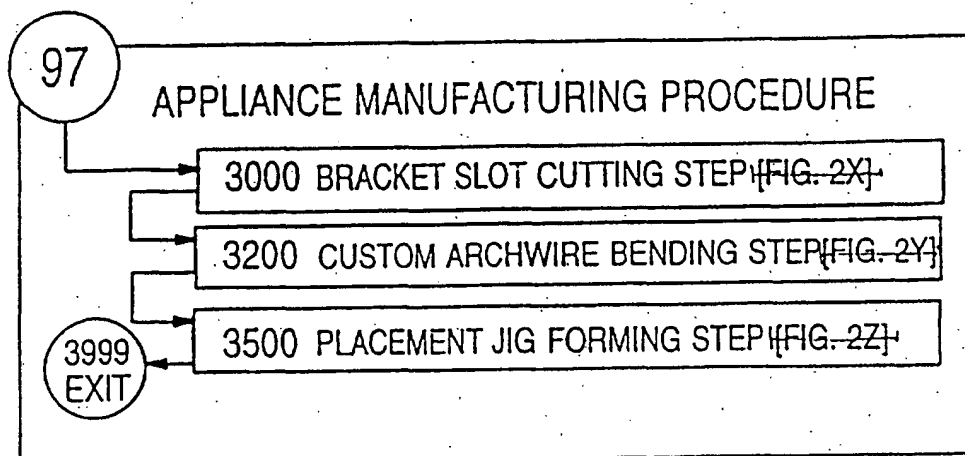


FIG. 2D

B 3103.00

**Fig. 2C**

- 96) Prozedur der Apparatfertigung
- 1200) mandibulare Bogendrahtebene
- 1300) mandibularer Schlitzwinkel
- 1400) maxillare Bogendrahtebene
- 1500) maxillarer Bracketschlitzwinkel
- 1600) Konstruktion des Bogendrahts und der Bracketschlitztiefe für Unterkiefer
- 1700) Konstruktion des Bogendrahts und der Bracketschlitztiefe für Oberkiefer
- 1800) Konstruktion Bracketeinsetzhalter

**Fig. 2D**

- 97) Prozedur der Apparatfertigung
- 3000) Schritt Bracketschlitzfräsen
- 3200) Schritt Biegen des individuellen Bogendrahts
- 3500) Schritt Bearbeitung der Einsetzhalter

B 31.03.00

33/54

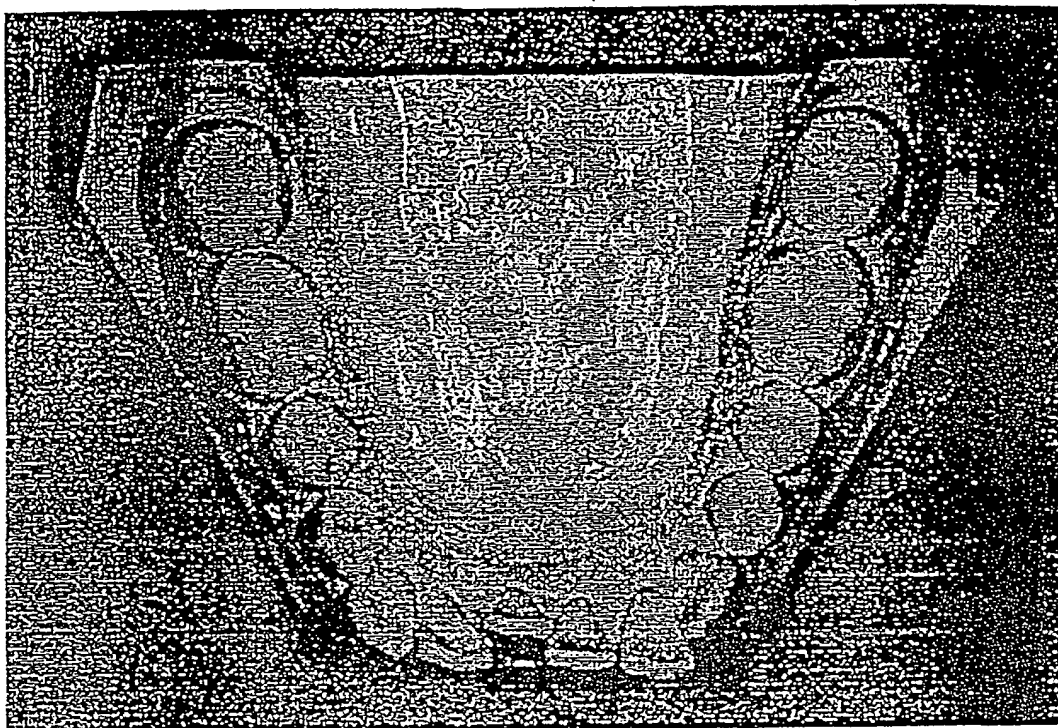
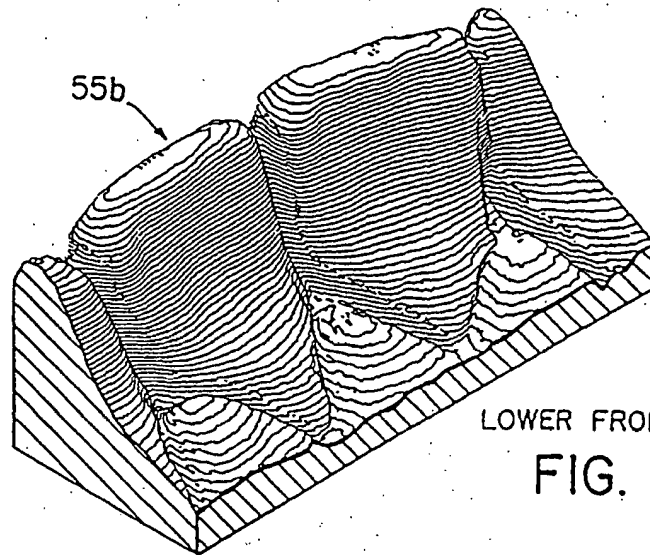


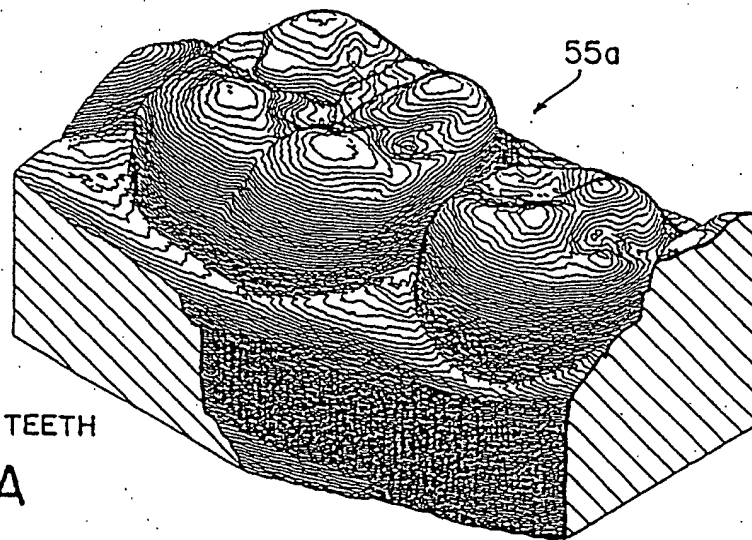
FIG. 3

B 31.03.00

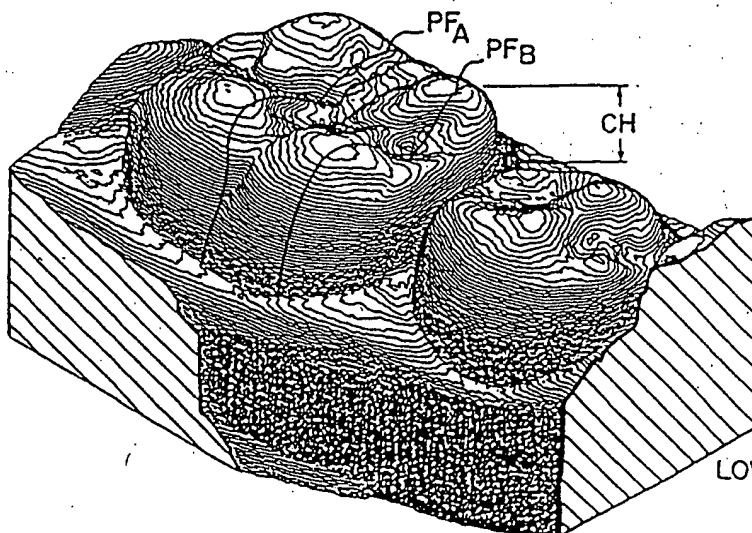
34/54



LOWER FRONT TEETH  
FIG. 3B



LOWER RIGHT TEETH  
FIG. 3A



LOWER RIGHT TEETH  
FIG. 6

B 31.03.00

**Fig. 3A**

untere rechte Zähne

**Fig. 3B**

untere Vorderzähne

**Fig. 6**

untere rechte Zähne

B 310300

35-154

		MAXILLARY				MANDIBULAR			
		CENTRAL		LATERAL		CENTRAL		LATERAL	
		C		C		C		C	
		CUSPID		1st BICUSPID		2nd BICUSPID		1st MOLAR	
RIGHT	3								
	4								
LEFT	3								
	4								
RIGHT	3								
	4								
LEFT	3								
	4								

RIGHT  
3  
MAXILLARY

RIGHT  
3  
MANDIBULAR

FIG.3C



B 3103 00

Fig. 3C

- 1) Oberkiefer
- 2) Unterkiefer
- 3) rechts
- 4) links
- 5) 1. Schneidezahn
- 6) 2. Schneidezahn
- 7) Eckzahn
- 8) 1. Prämolare
- 9) 2. Prämolare
- 10) 1. Molar

B 3 1 . 0 3 . 0 0

36 / 54

FIG. 4A

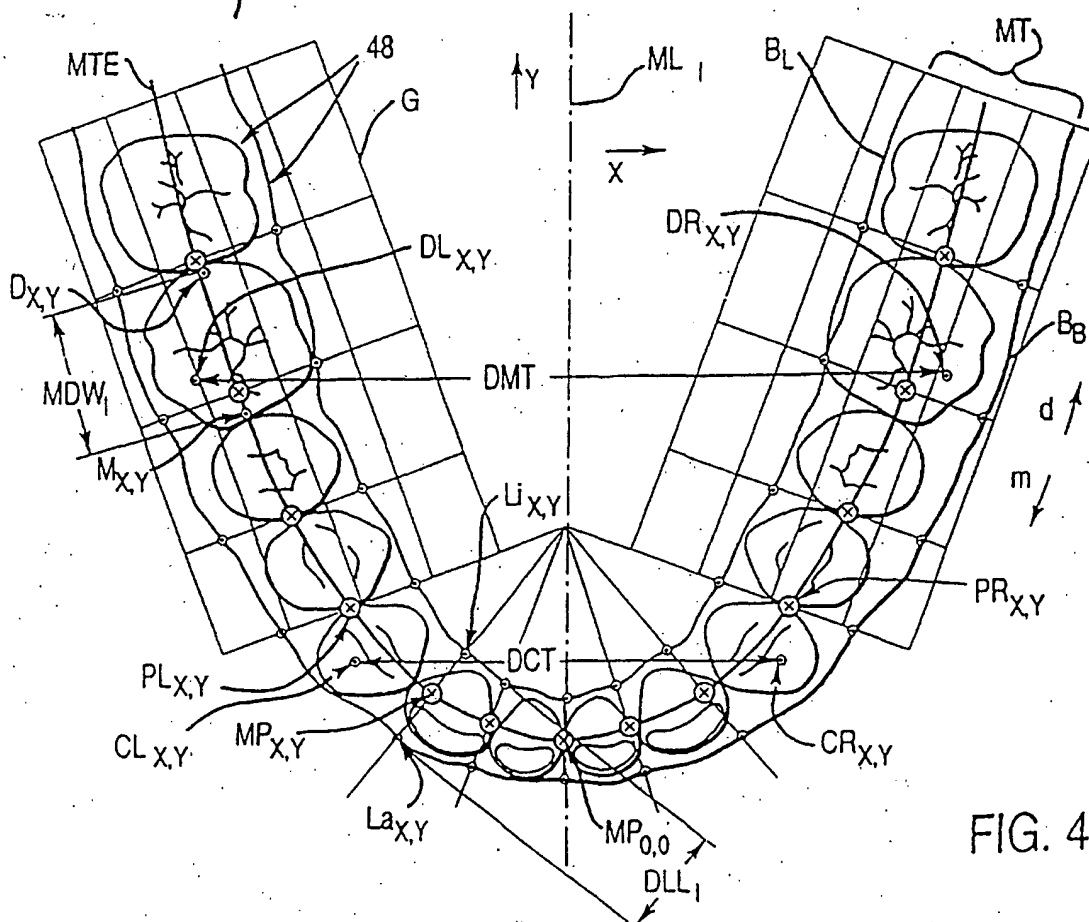
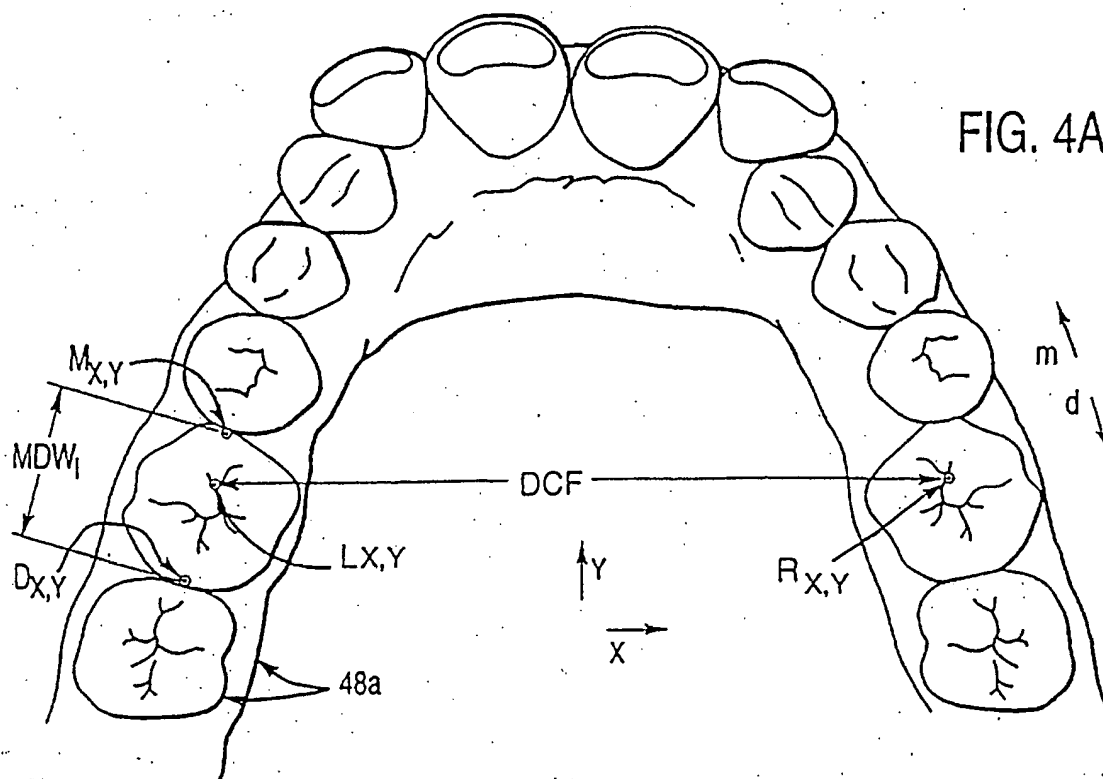
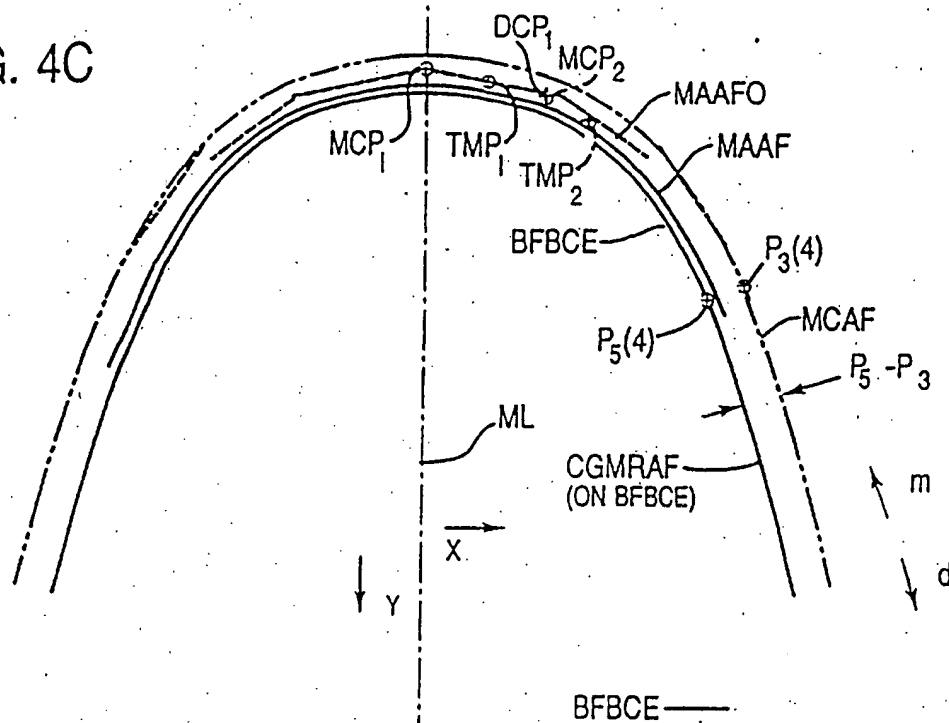


FIG. 4

37134

FIG. 4C



MTE

FIG. 4B

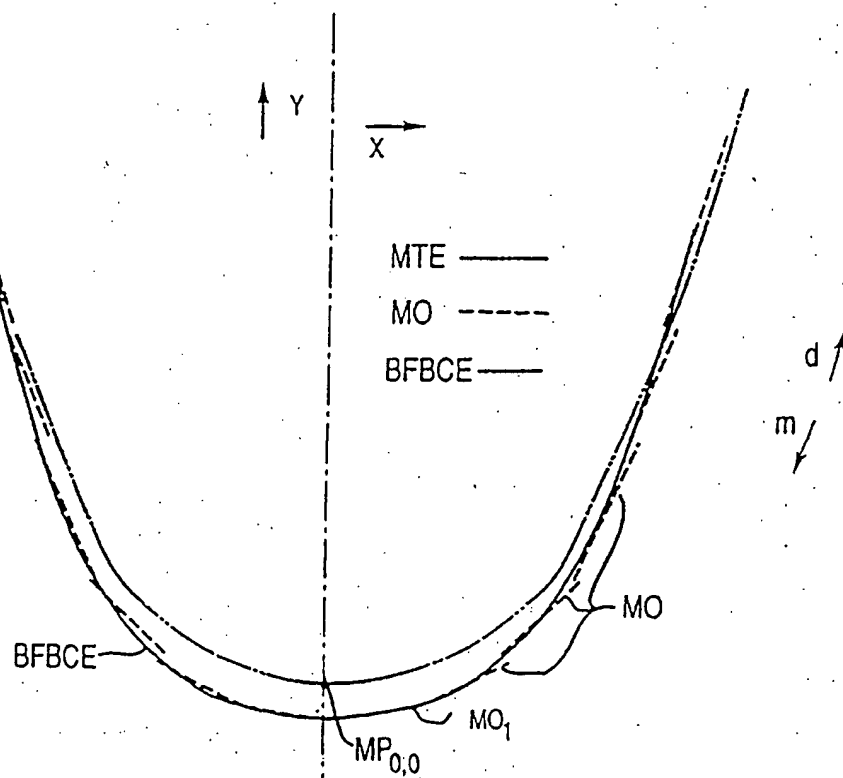


FIG. 4D

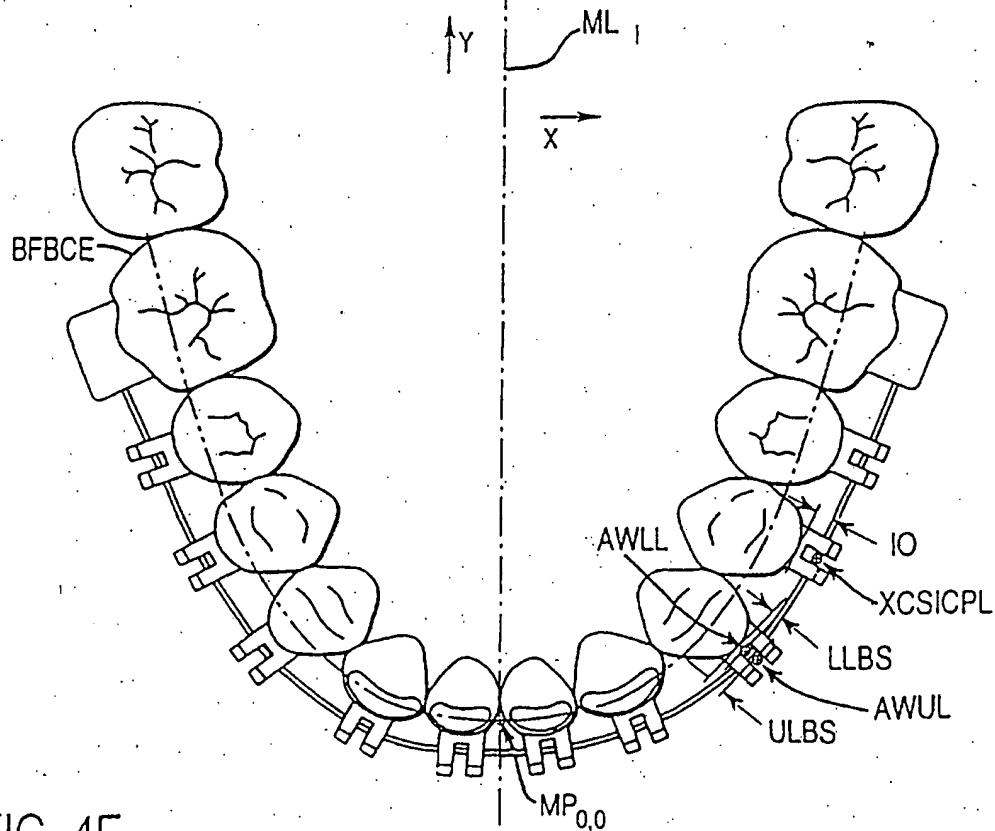
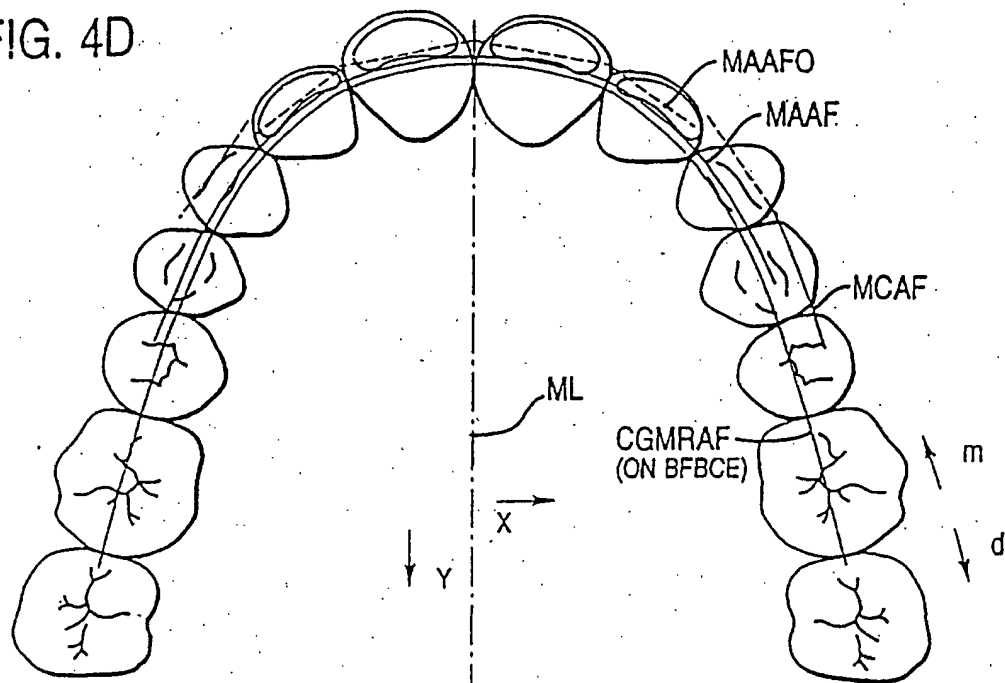


FIG. 4E

B 31.03.00

39/54

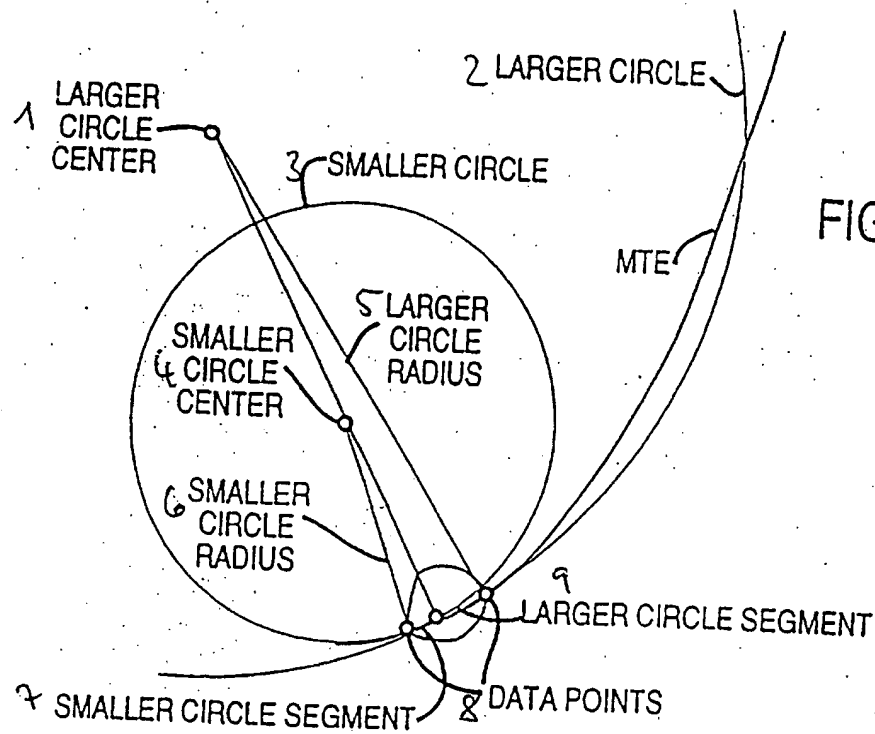


FIG. 5

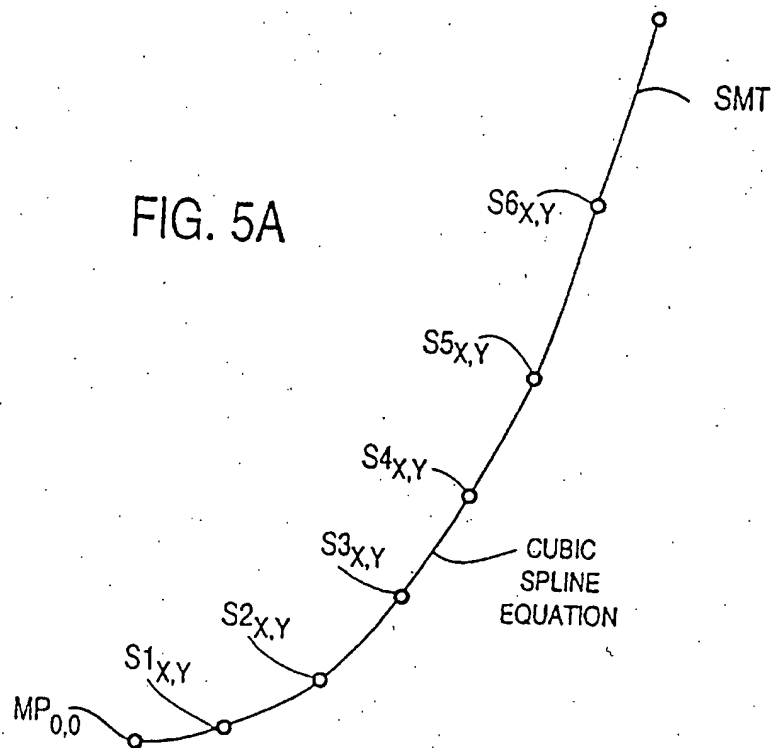


FIG. 5A

831.03.00

**Fig. 5**

- 1) Mittelpunkt des größeren Kreises
- 2) größerer Kreis
- 3) kleiner Kreis
- 4) Mittelpunkt des kleineren Kreises
- 5) Radius des größeren Kreises
- 6) Radius des kleineren Kreises
- 7) Segment des kleineren Kreises
- 8) Datenpunkte
- 9) Segment des größeren Kreises

**Fig. 5A**

kubische Spline-Funktion

B 31.03.00

40/54

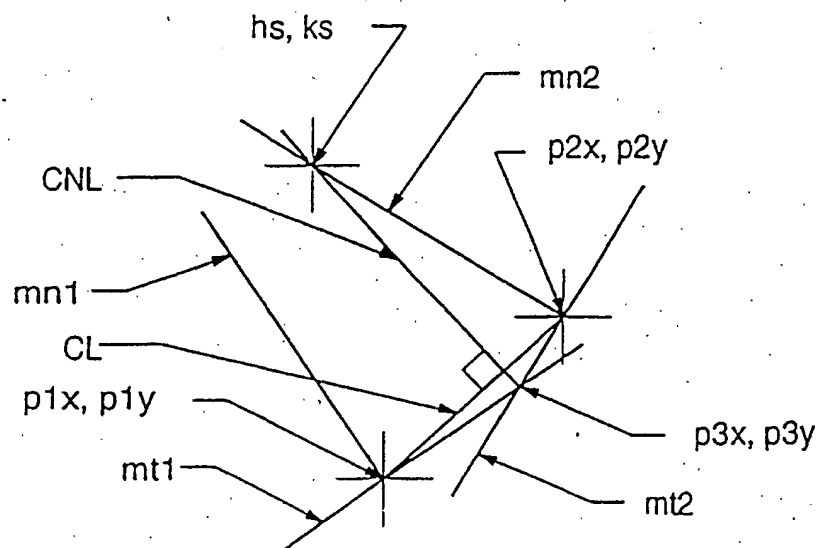
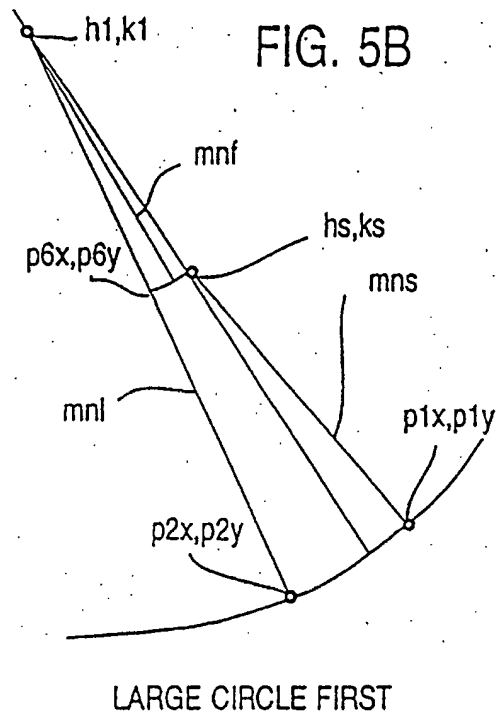
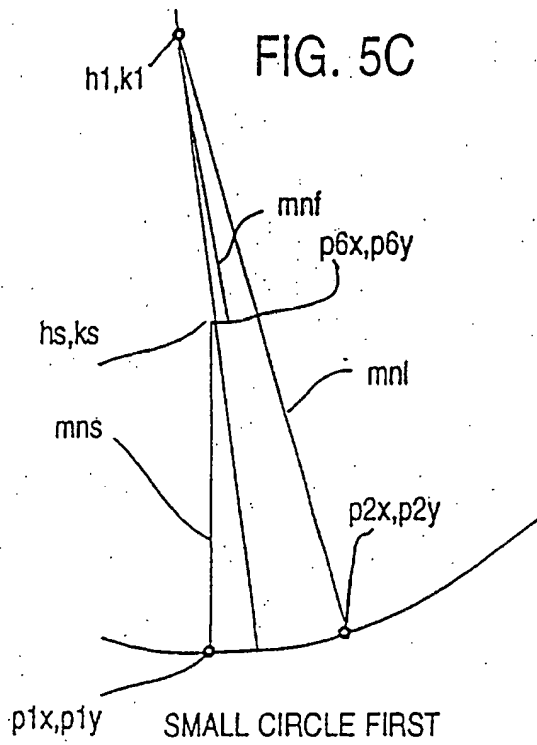


FIG. 5D

B 31.03.00

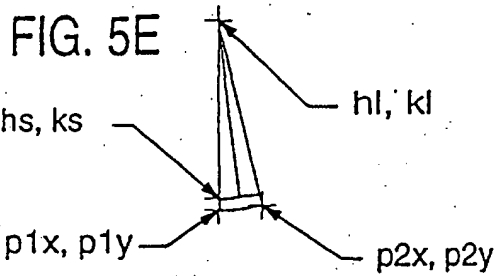
**Fig. 5B**

kleiner Kreis zuerst

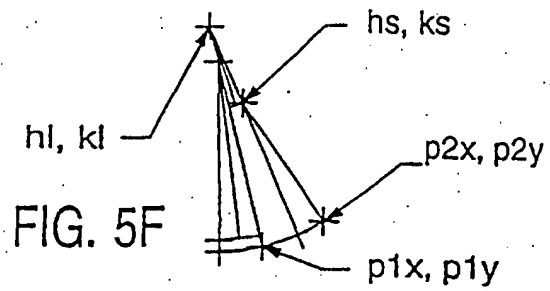
**Fig. 5B**

großer Kreis zuerst

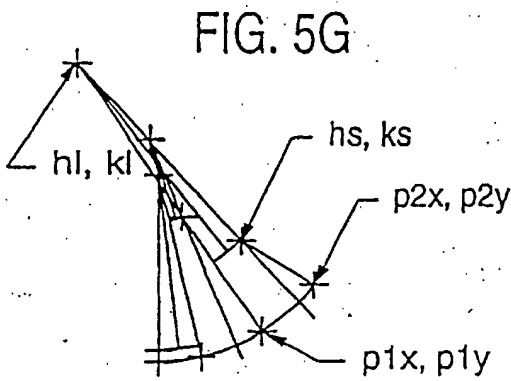




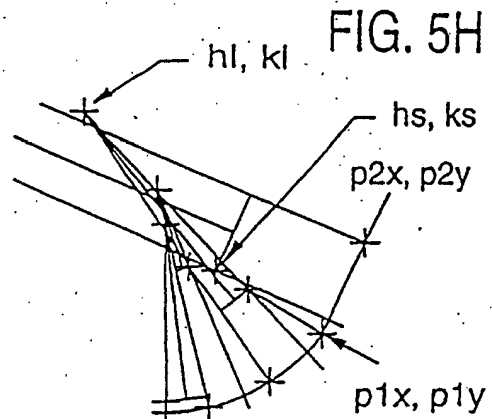
1 Spline Seg. No. 1  
2 Circle Seg. Nos. 1 and 2



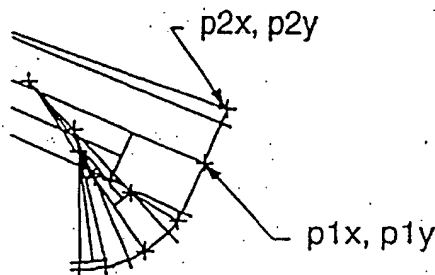
1 Spline Seg. No. 2  
2 Circle Seg. Nos. 3 and 4



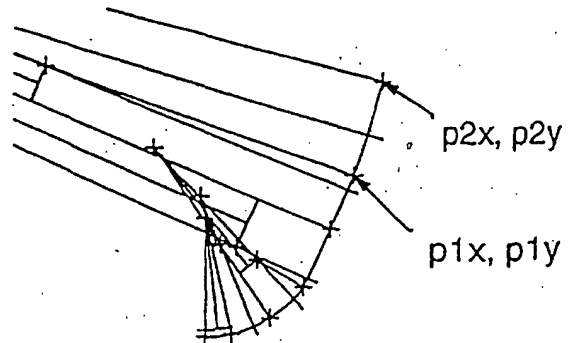
1 Spline Seg. No. 3  
2 Circle Seg. Nos. 5 and 6



1 Spline Seg. No. 4  
2 Circle Seg. Nos. 7 and 8



1 Spline Seg. No. 5  
2 Circle Seg. Nos. 9 and 10



1 Spline Seg. No. 6  
2 Circle Seg. No.'s 11 and 12

FIG. 5I

FIG. 5J

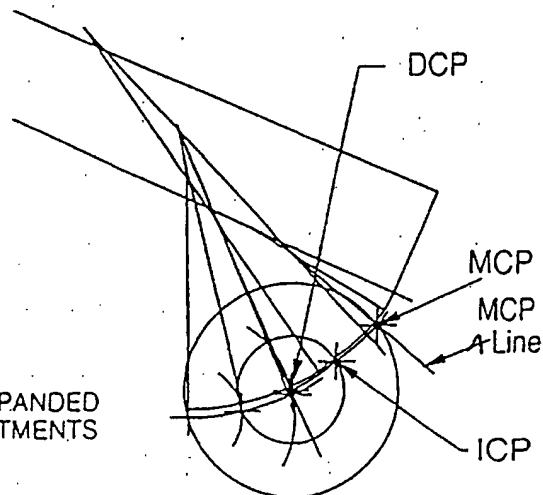
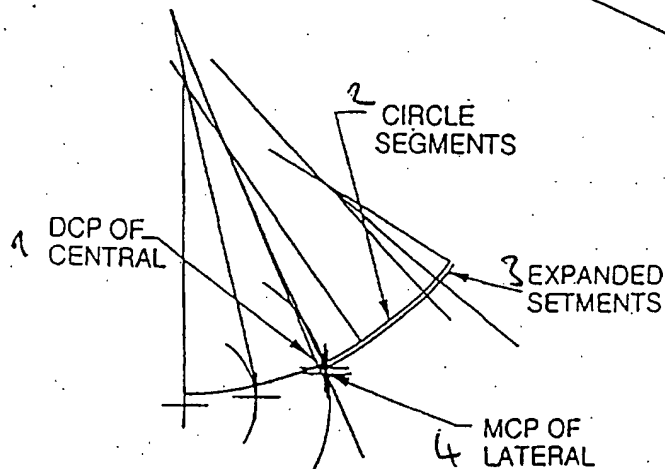
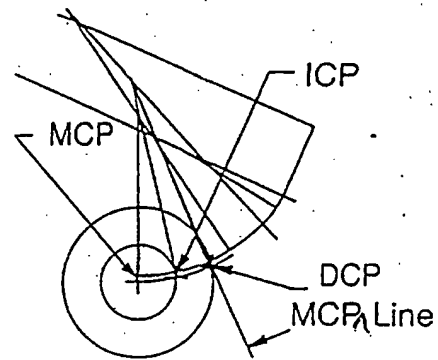
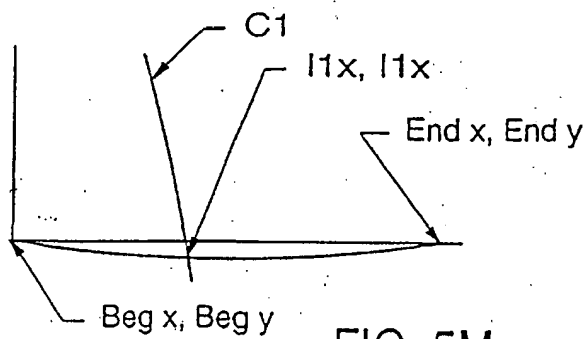
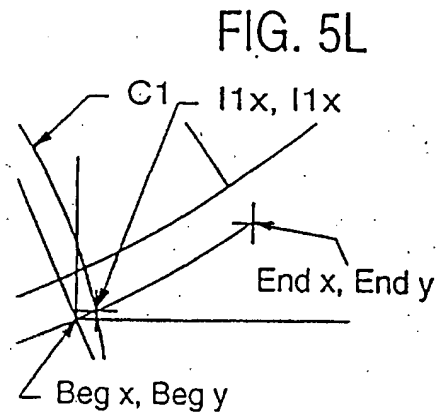
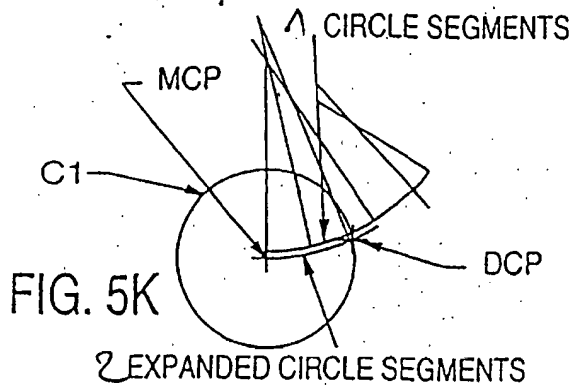
B 31.03.00

**Fig. 5E - 5J**

- 1) Spline-Segment Nr.
- 2) Kreis-Segment Nr.

B 31.03.00

42 / 54



B 31.03.00

**Fig. 5K**

- 1) Kreissegmente
- 2) erweiterte Kreissegmente

**Fig. 5O**

- 1) DCP des 1. Schneidezahns
- 2) Kreissegmente
- 3) erweiterte Kreissegmente
- 4) MCP des 2. Schneidezahns

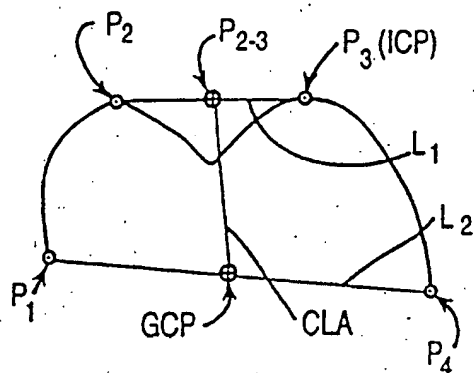


FIG. 6A

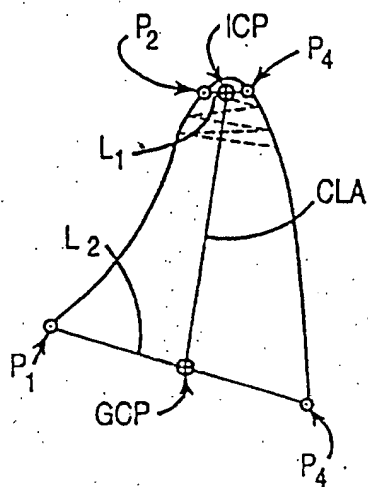


FIG. 6B

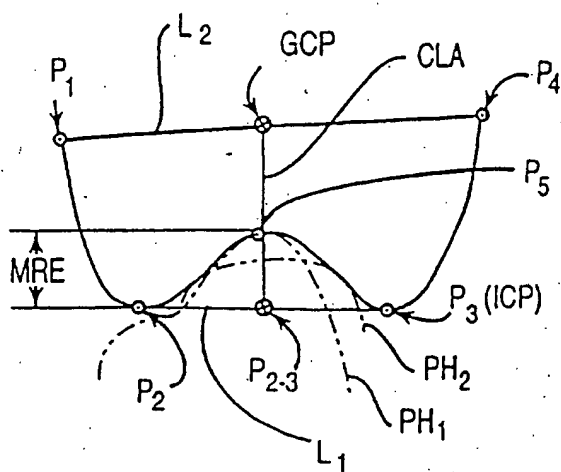


FIG. 6C

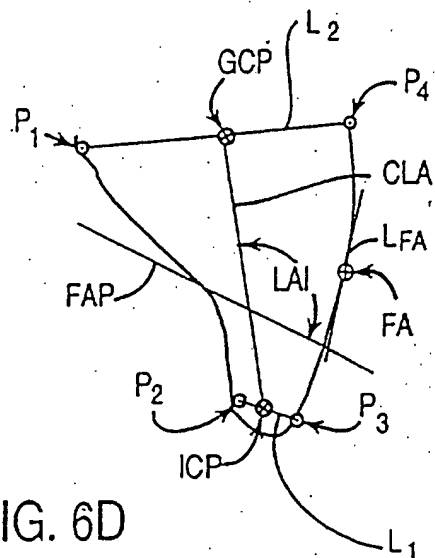
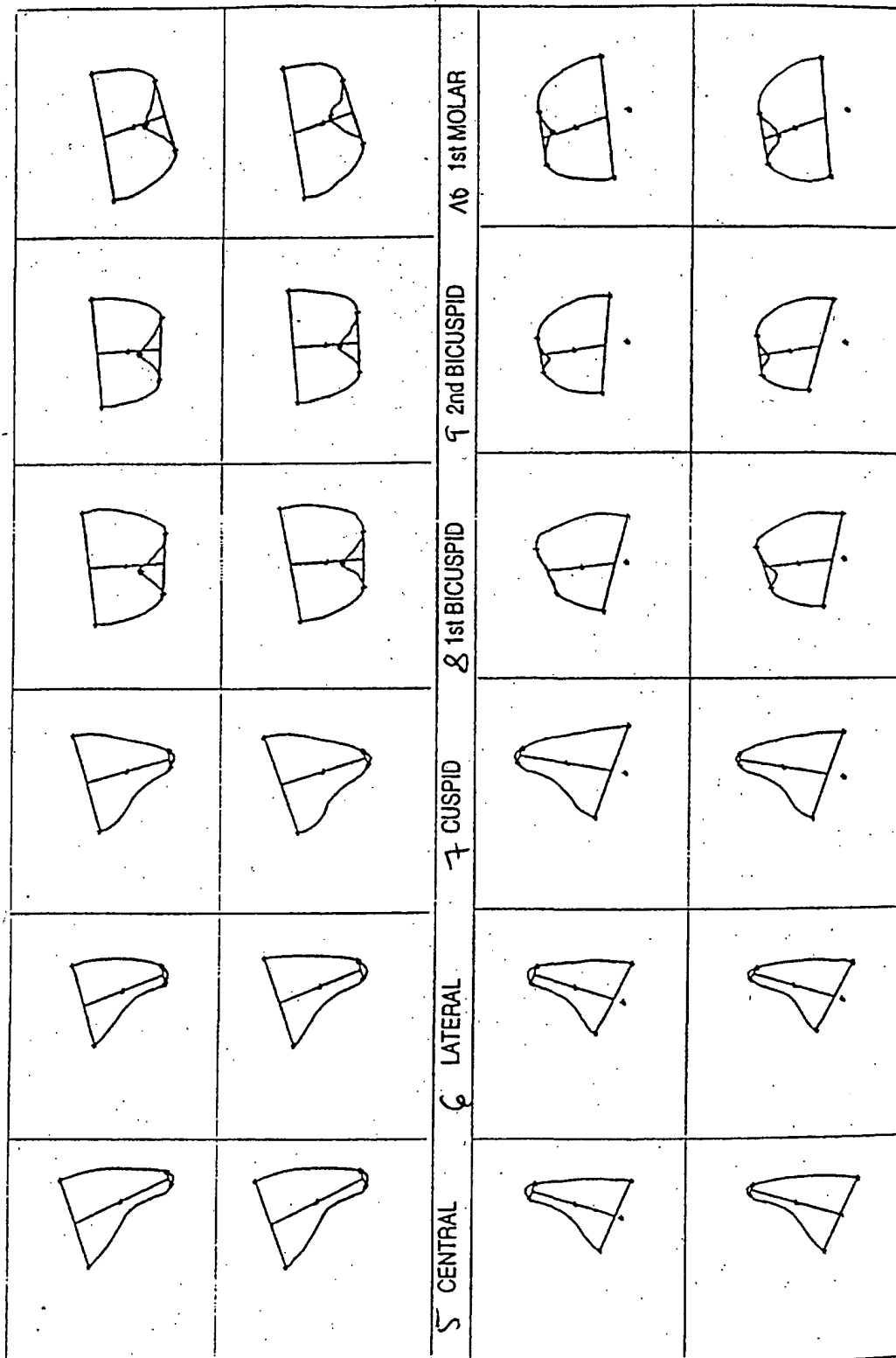


FIG. 6D

B 3103-00

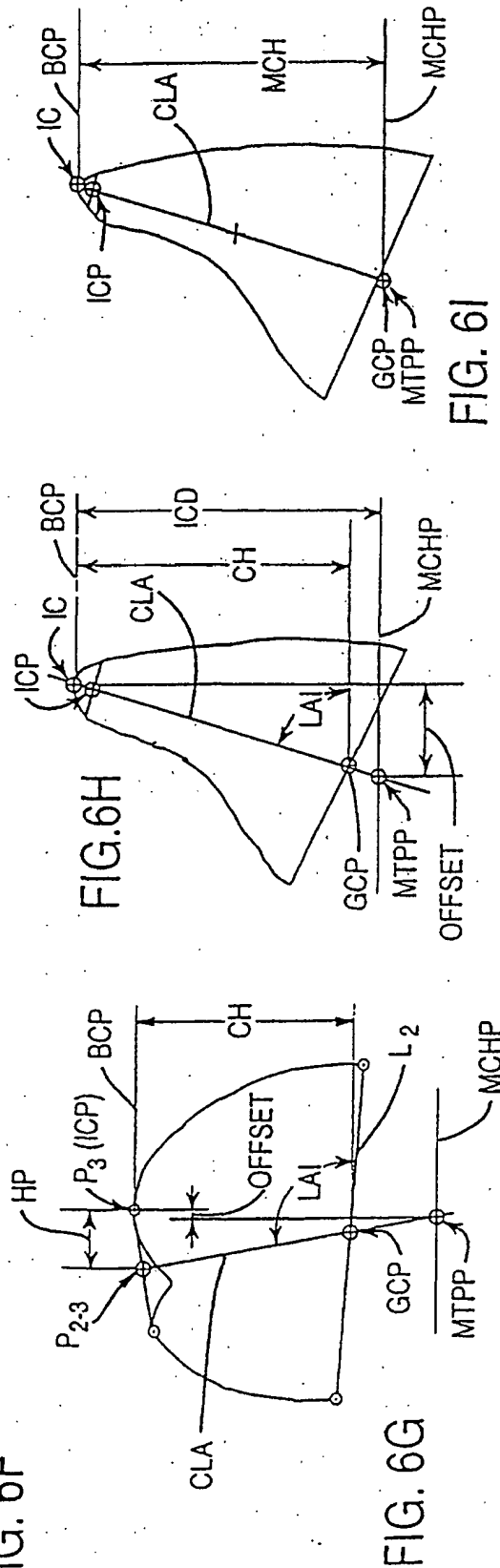
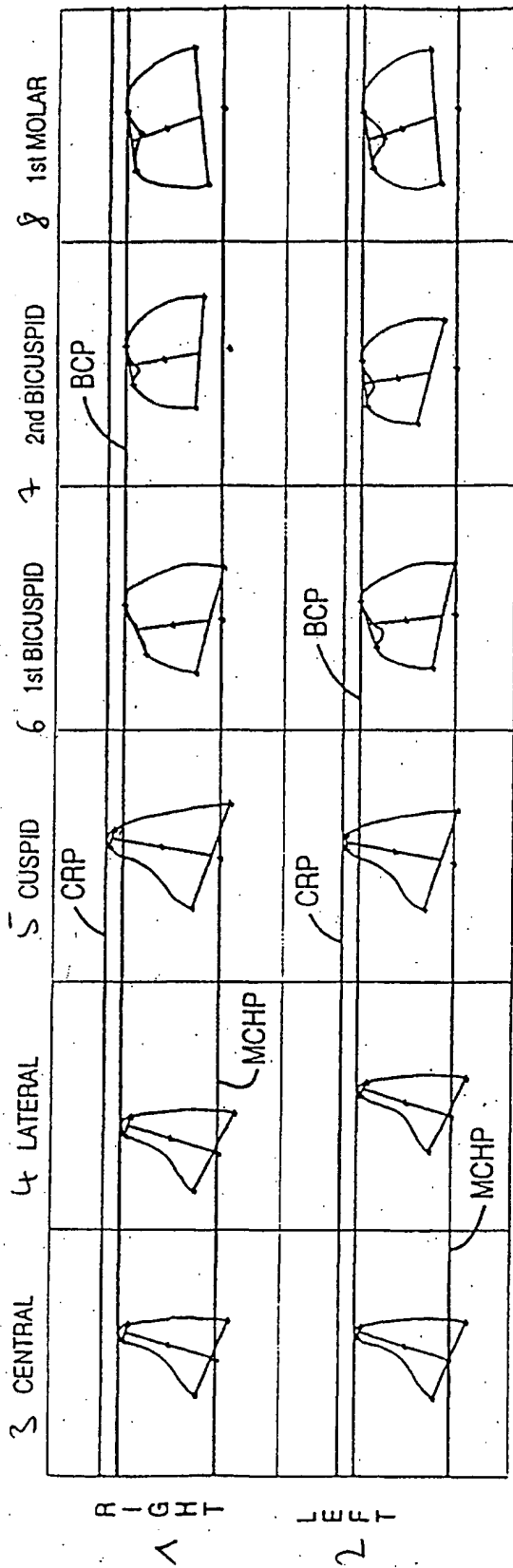
44/54



8 31.03.00

Fig. 6E

- 1) Oberkiefer
- 2) Unterkiefer
- 3) rechts
- 4) links
- 5) 1. Schneidezahn
- 6) 2. Schneidezahn
- 7) Eckzahn
- 8) 1. Prämolare
- 9) 2. Prämolare
- 10) 1. Molare





B 31.03.00

Fig. 6F

- 1) rechts
- 2) links
- 3) 1. Schneidezahn
- 4) 2. Schneidezahn
- 5) Eckzahn
- 6) 1. Prämolare
- 7) 2. Prämolare
- 8) 1. Molar

B 31.03.00

46/54

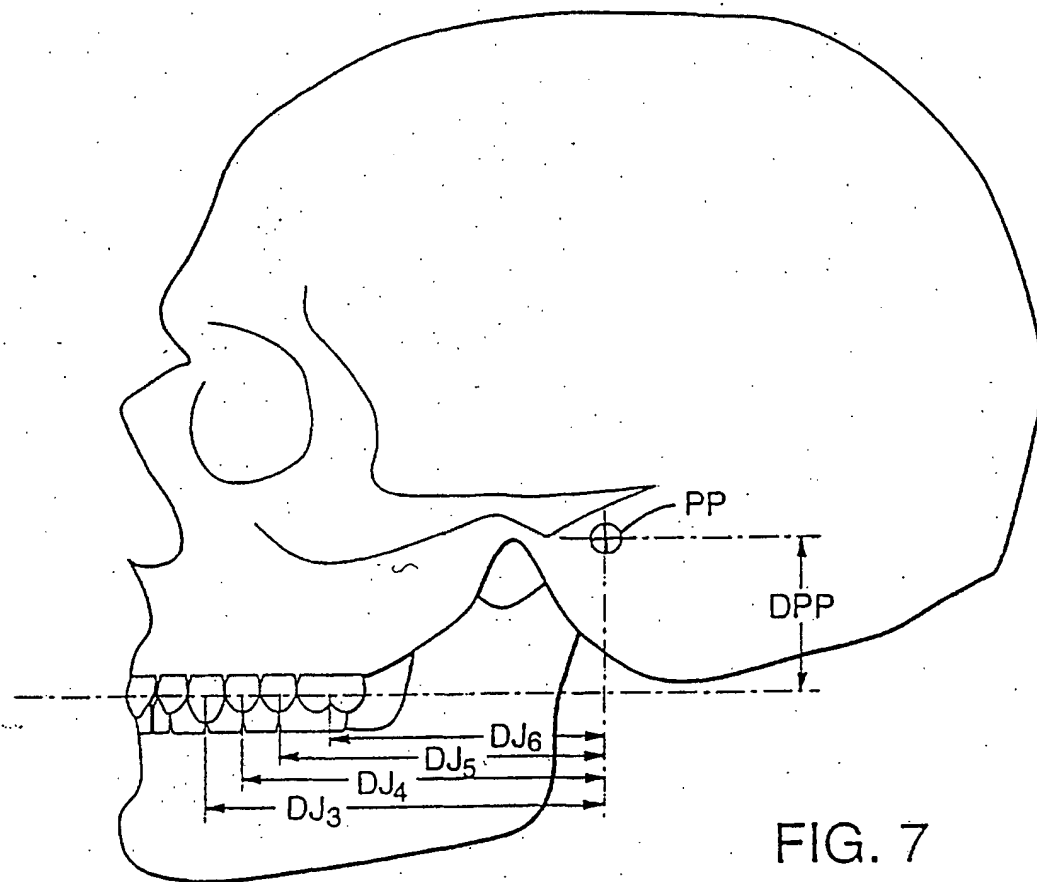


FIG. 7

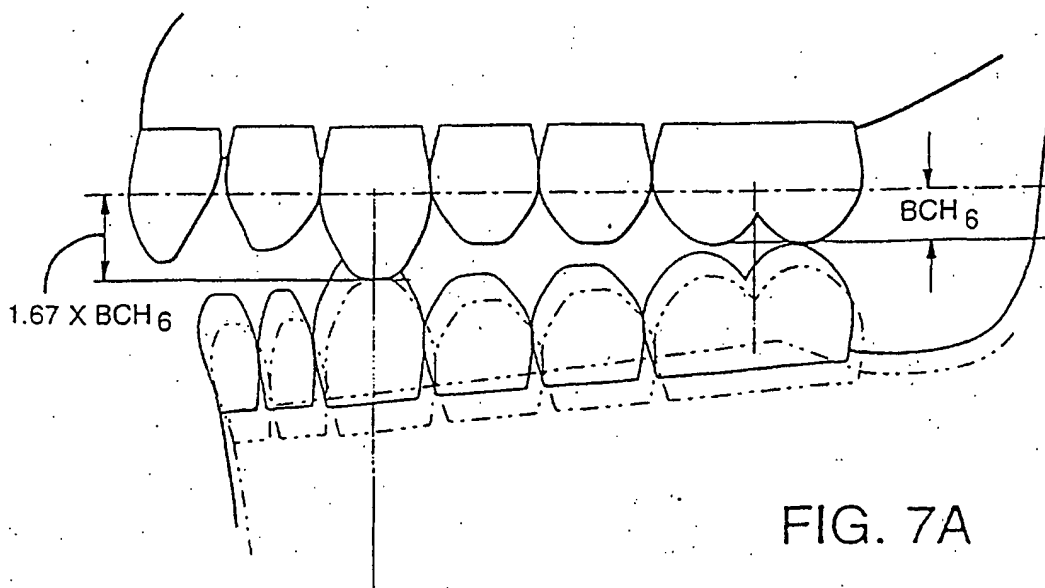
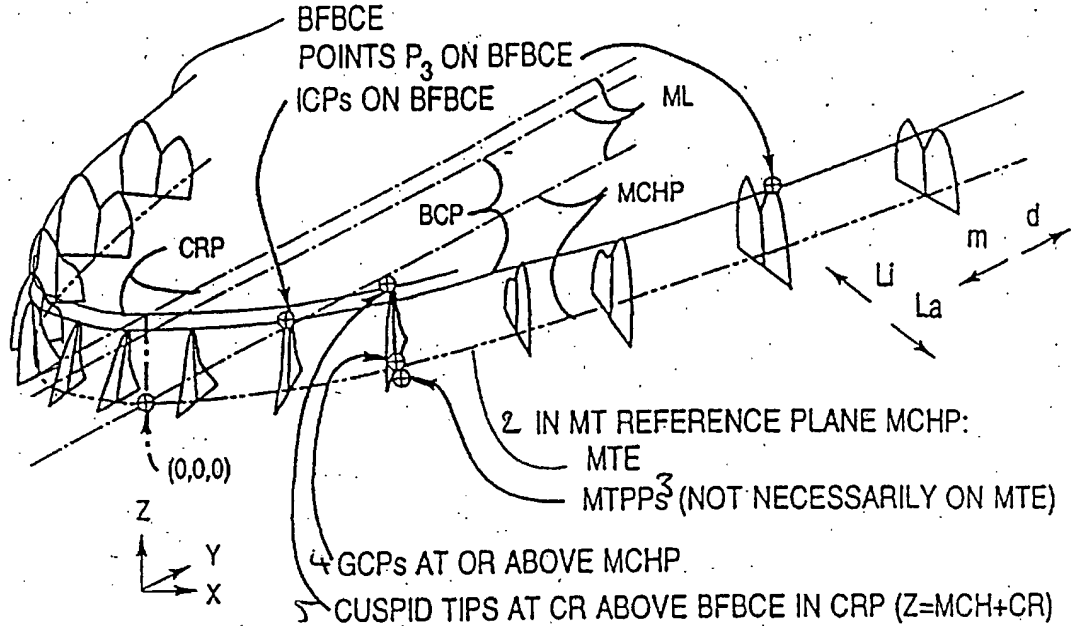


FIG. 7A

B 31.03.00

1 IN PLANE OF OCCLUSION BCP (Z=MCH):



6 PROFILE PLANE COORDINATES:

Y COORDINATE = Z IN ARCH PLANES

X COORDINATE = LABIAL (La) DIRECTION IN ARCH PLANES

FIG. 7C

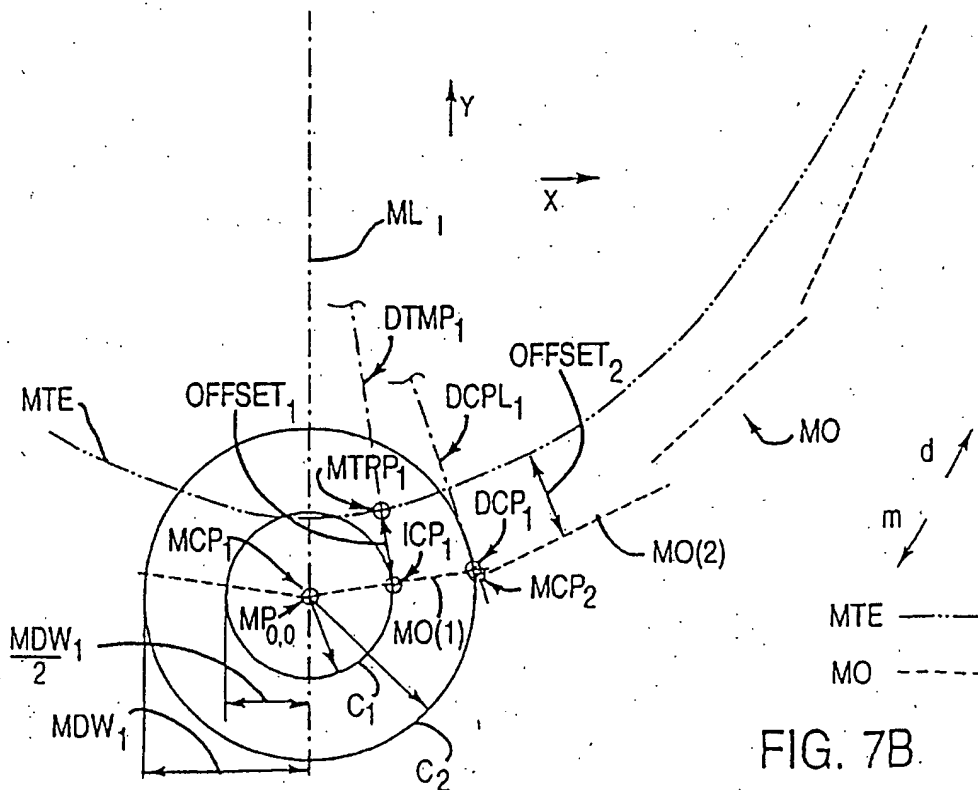


FIG. 7B

B 31.03.00

Fig. 7C

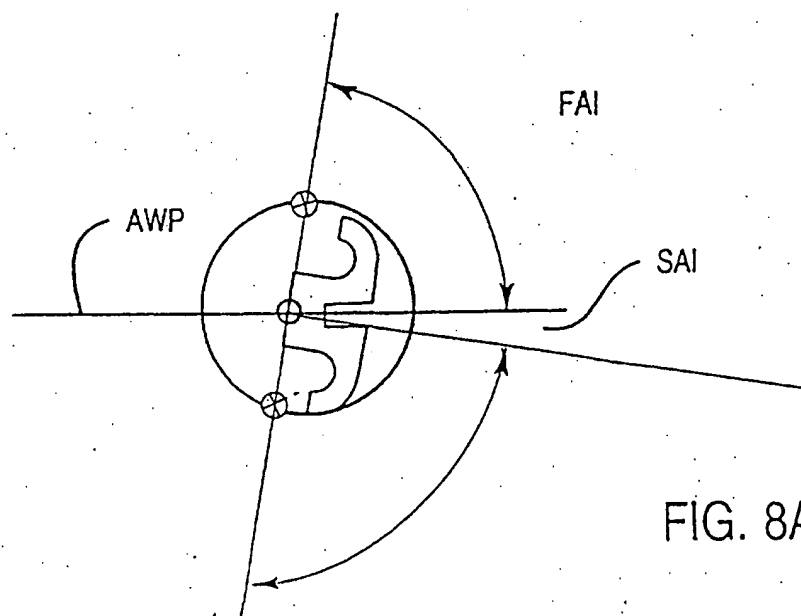
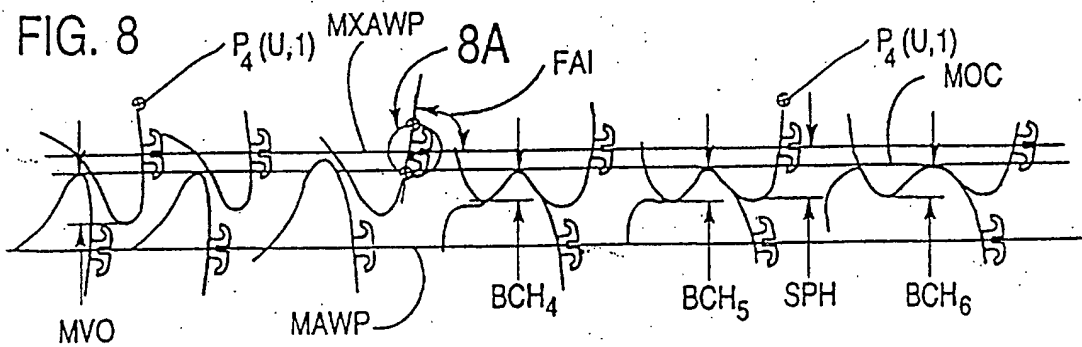
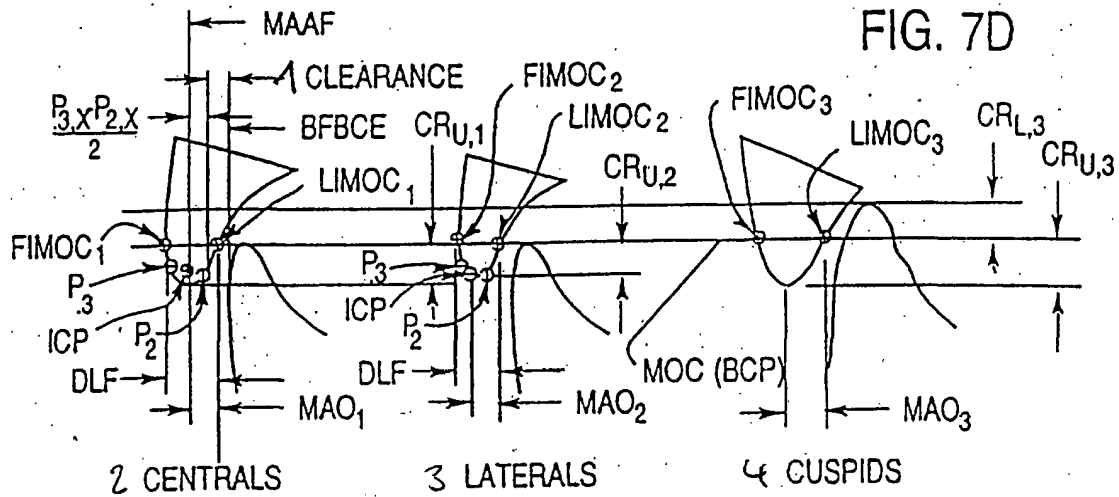
- 1) in Okklusionsebene
- 2) in MT-Referenzebene
- 3) (nicht notwendigerweise auf MTE)
- 4) GCPs in oder über MCHP
- 5) Eckzahnspitzen bei CR über BFBCE in CRP
- 6) Profilebenenkoordinaten:

Y-Koordinate = Z in Bogenebenen

X-Koordinate = Labiale (La) Richtung in Bogenebenen

B 31.03.00

48/54

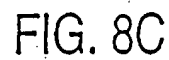


B 31.03.00

**Fig. 7D**

- 1) Zwischenraum
- 2) 1. Schneidezähne
- 3) 2. Schneidezähne
- 4) Eckzähne

49 / 54



B 31.03.00

Fig. 8B

- 1) Mittelpunkt des kleineren Kreises
- 2) Radius des kleineren Kreises
- 3) Radius des größeren Kreises
- 4) Segment des kleineren Kreises
- 5) Segment des größeren Kreises



B 31.03.00

50/54

FIG. 8D

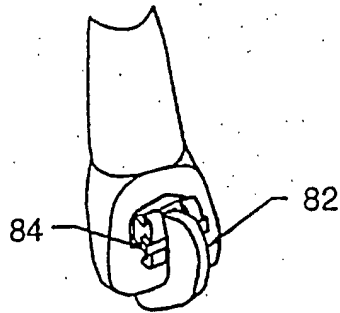


FIG. 8E

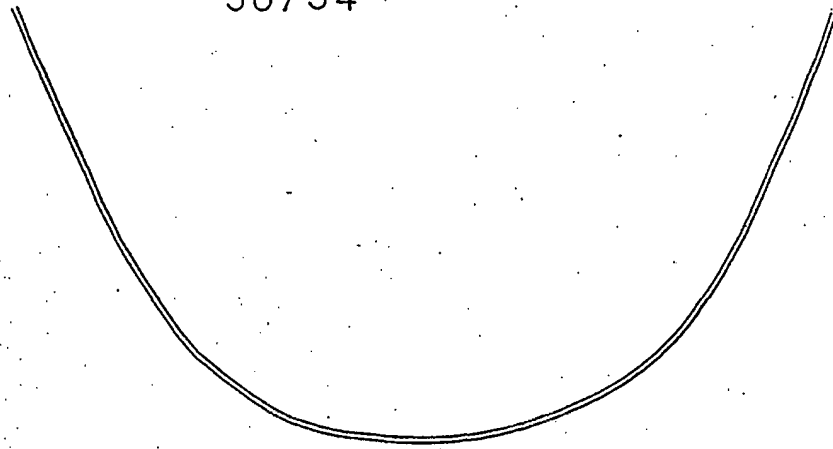
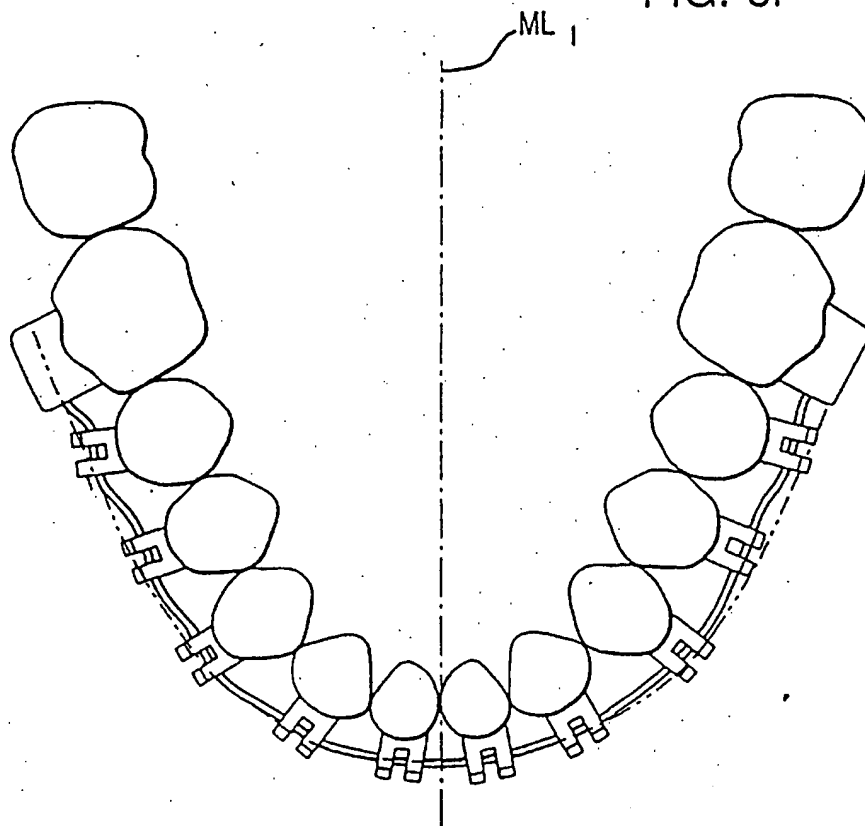
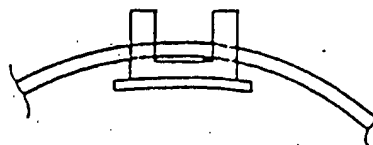


FIG. 8F



8 3 1 0 3 0 0

FIG. 8I



MXAWP

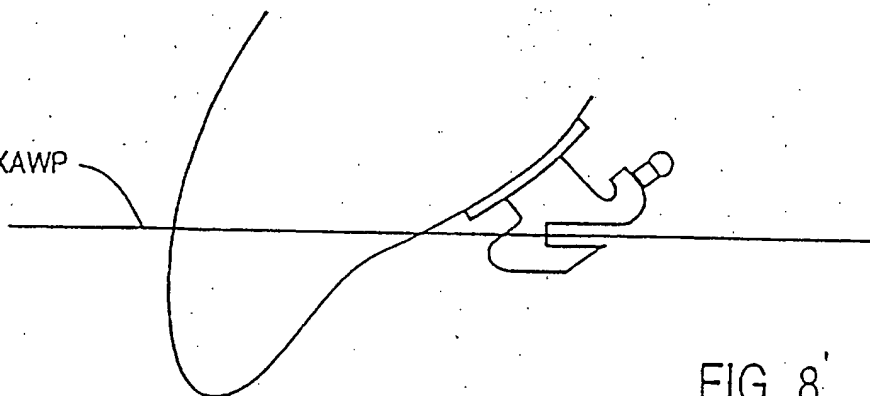
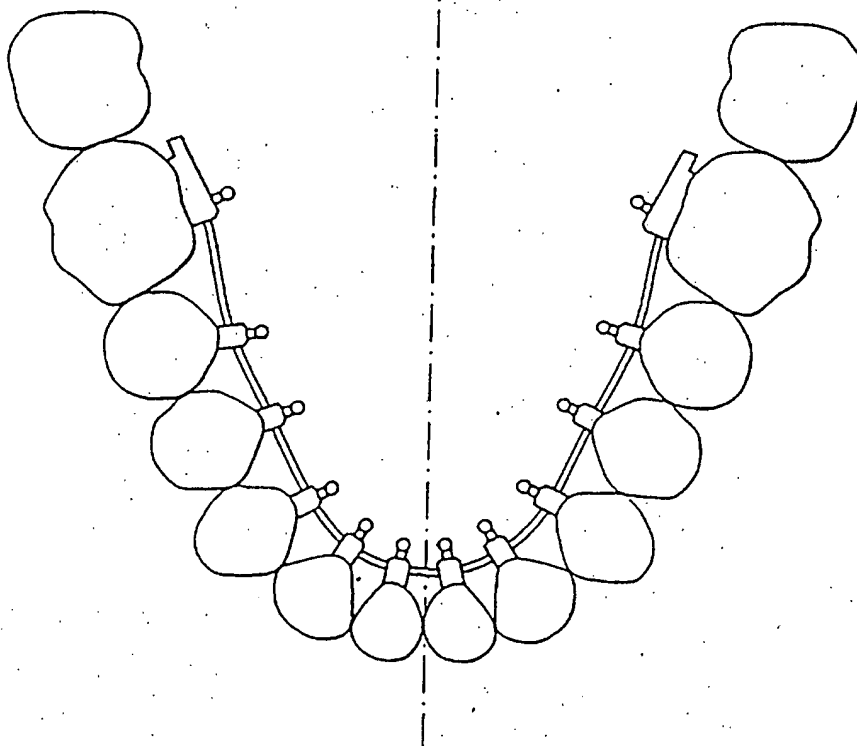


FIG. 8' H

FIG. 8' G

ML<sub>1</sub>



B 31.03.00

52/54

FIG. 9

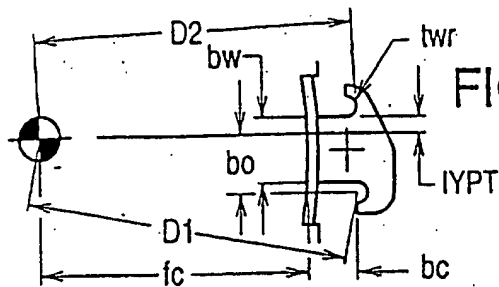
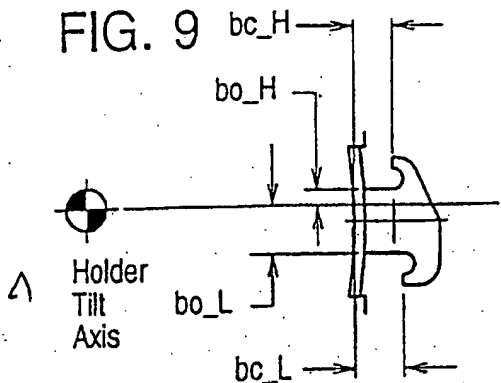


FIG. 9A

FIG. 9B

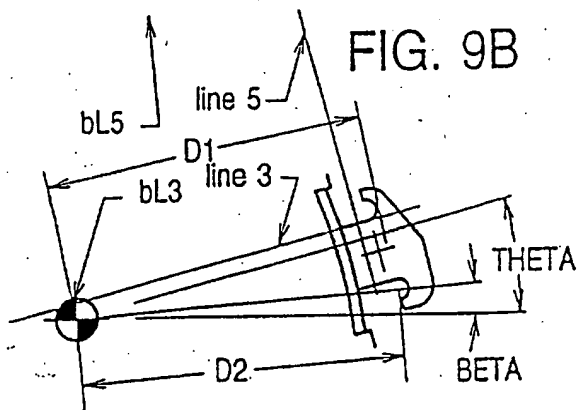


FIG. 9C

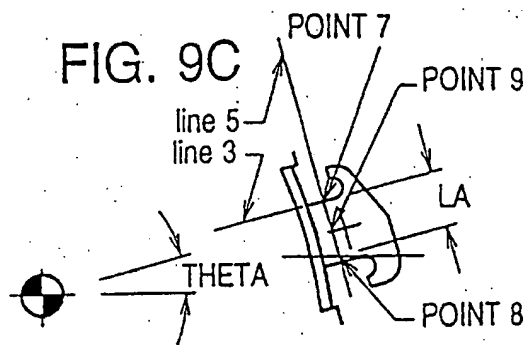


FIG. 9D

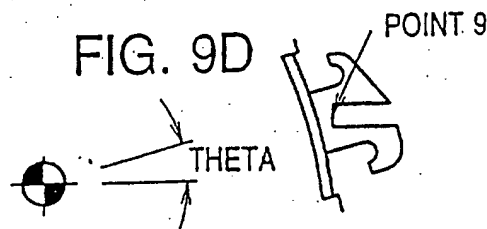


FIG. 9E

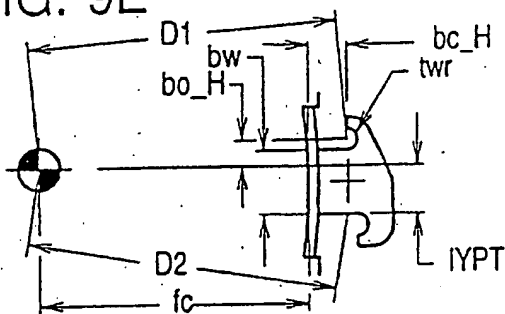


FIG. 9G

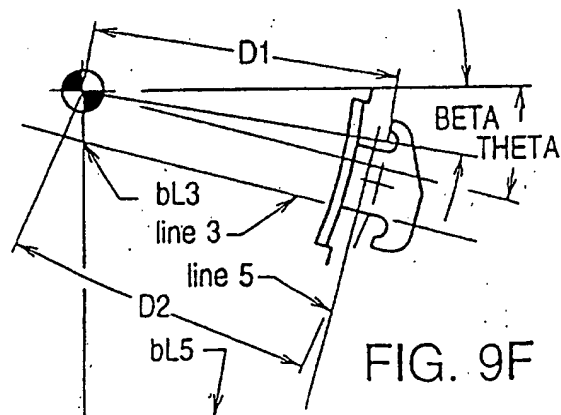
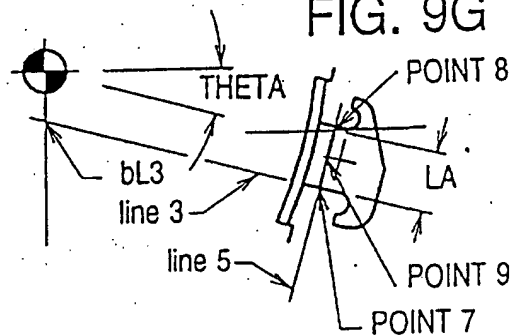
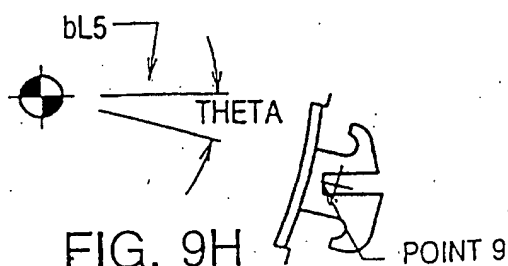


FIG. 9F

FIG. 9H



8 31.03.00

Fig. 9

1) Neigungsachse des Halters

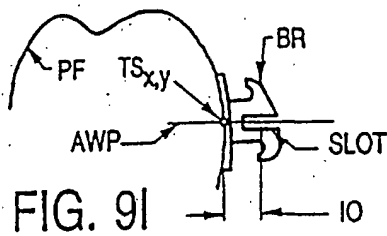


FIG. 9I

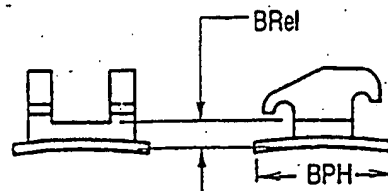


FIG. 9J

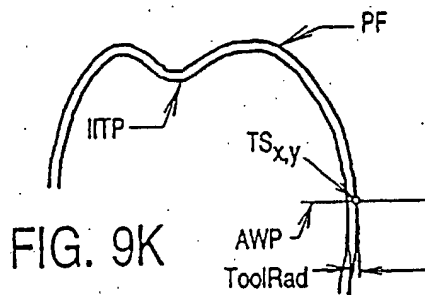


FIG. 9K

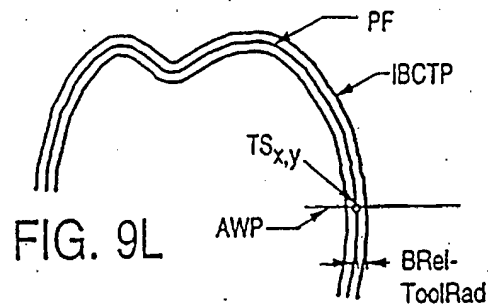


FIG. 9L

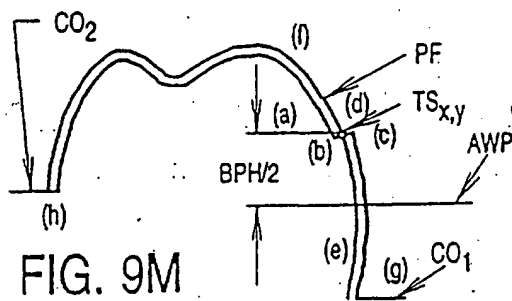


FIG. 9M

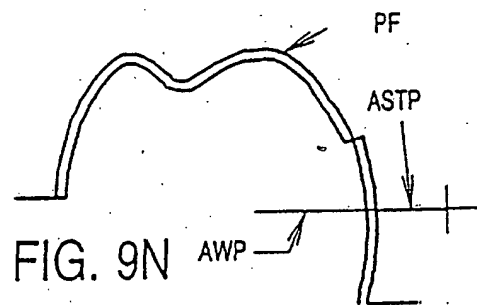


FIG. 9N

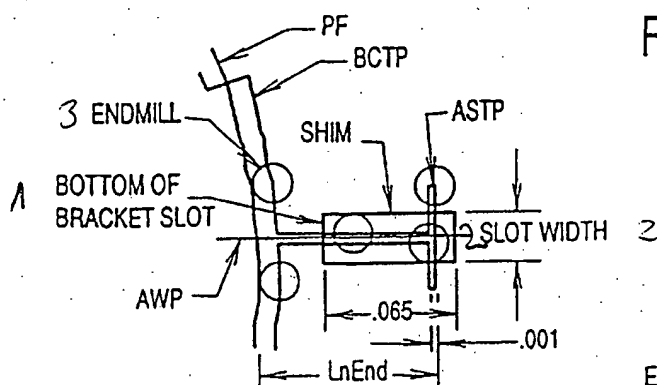


FIG. 9O

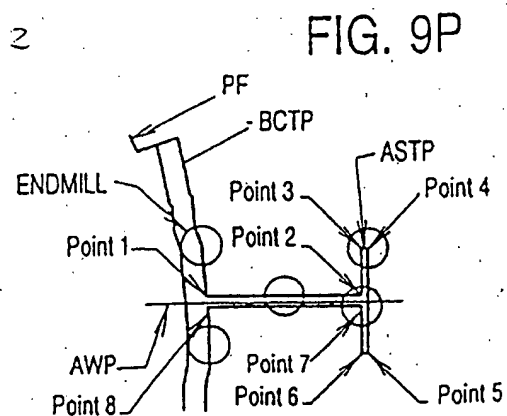
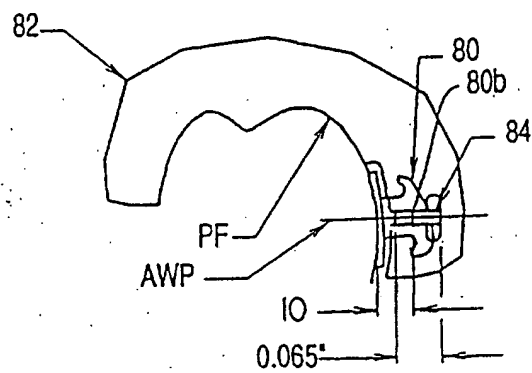
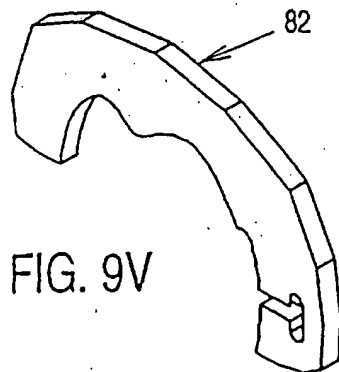
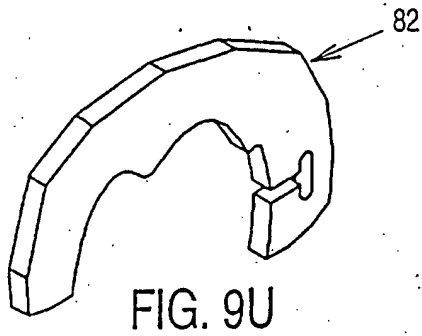
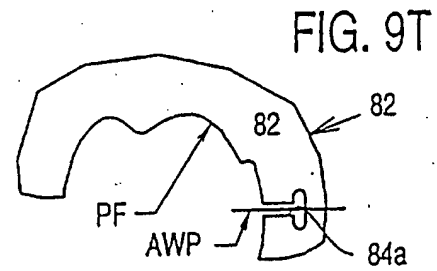
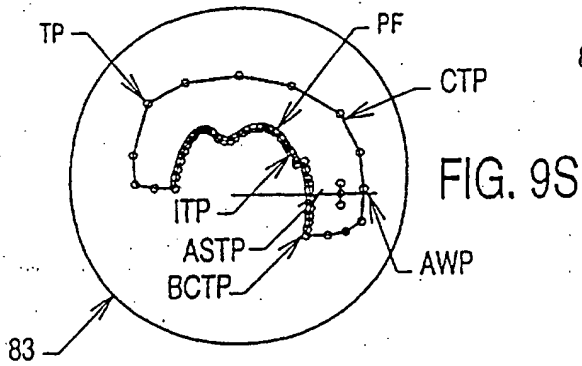
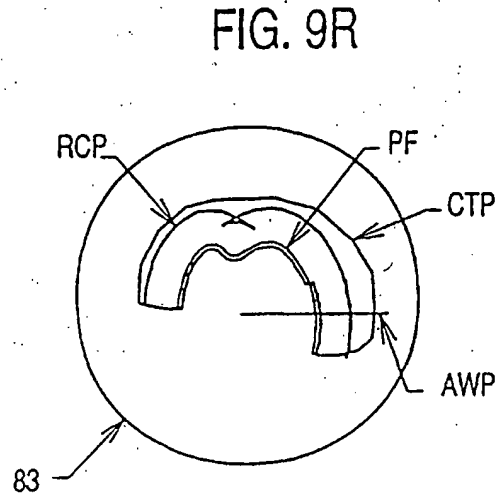
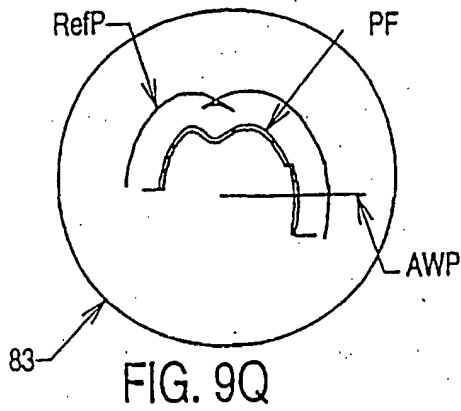


FIG. 9P

B 31.03.00

**Fig. 90**

- 1) Grundfläche des Bracketschlitzes
- 2) Schlitzbreite
- 3) Schaftfräser



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**